

**TUGAS AKHIR - ME 141501**

## **ANALISA ALIRAN UDARA MASUK DAN CAMSHAFT STRESS PADA GAS ENGINE JENIS VARIABLE VALVE LIFT**

DENI KRISWANA  
NRP 4213 100 032

Dosen Pembimbing :  
Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.

TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**FINAL FINAL PROJECT - ME 141501**

## **AIR FLOW AND CAMSHAFT STRESS ANALYSIS OF VARIABLE VALVE LIFT GAS ENGINE**

**DENI KRISWANA**  
**NRP 4213 100 032**

Supervisor Lecturer :  
Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**  
Fakulty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya 2017

## LEMBAR PENGESAHAN

### *ANALISA ALIRAN UDARA MASUK DAN CAMSHAFT STRESS PADA GAS ENGINE JENIS VARIABLE VALVE LIFT*

#### *TUGAS AKHIR*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Deni Kriswana**

**NRP : 4213 100 032**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. I Made Ariana, ST. MT.

Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.



SURABAYA

JULI 2017

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN****ANALISA ALIRAN UDARA MASUK DAN CAMSHAFT STRESS PADA  
GAS ENGINE JENIS VARIABLE VALVE LIFT****TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Deni Kriswana**

**NRP : 4213 100 032**

Disetujui Oleh Kepala Departement Teknik Sistem Perkapalan :



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALISA ALIRAN UDARA MASUK DAN CAMSHAFT STRESS PADA GAS  
ENGINE JENIS VARIABLE VALVE LIFT**

Nama Mahasiswa : Deni Kriswana  
NRP : 4213 100 032  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.

**ABSTRAK**

Penggunaan teknologi variable valve lift pada diesel gas engine telah mampu menambah power tanpa harus mengubah dimensi mesin. Namun analisa mendalam tentang bagaimana aliran yang terjadi pada saat udara masuk dan stress yang terjadi pada camshaft gas engine perlu dikaji lebih dalam. Simulasi analisa aliran udara masuk dan camshaft stress pada gas engine tipe variable valve lift diharapkan dapat memberikan gambaran pengaruh dari penggunaan valve lift pada gas engine. Dalam percobaan simulasi ini menggunakan pendekatan CFD (computational fluid dynamic) dan structural stress dengan variable bukaan valve pada kondisi default sebesar 11.1 mm, bukaan yang ditingkatkan 1.5 x sebesar 16.65 mm, 2x sebesar 22.205 mm, dan 2.5x sebesar 27.7 mm. Dimana dari simulasi tersebut menunjukkan hasil bahwa pada kondisi bukaan valve dari 11.1 mm sampai 22.205 mm mengalami kenaikan kecepatan udara rata-rata dan massa aliran udara, sementara pada bukaan valve 27.7 mm mengalami penurunan kecepatan rata-rata. Nilai stress yang dihasilkan dari bukaan valve 11.1 mm sampai 27.7 mm terus mengalami peningkatan karena gaya yang ditimbulkan pada spring semakin dalam bukaan valve maka gaya pada spring semakin meningkat.

***Kata kunci :*** *variable valve lift, analisa aliran, tegangan*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**ANALISA ALIRAN UDARA MASUK DAN CAMSHAFT STRESS PADA GAS  
ENGINE JENIS VARIABLE VALVE LIFT**

Nama Mahasiswa : Deni Kriswana  
NRP : 4213 100 032  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.

**ABSTRAK**

*The use of variable valve lift technology on diesel gas engine has been able to increase power without having to change the dimensions of the engine. However, in-depth analysis of how the flows that occurs when air enters and stress that occur in camshaft of gas engine needs to be studied more deeply. Simulation Analysis incoming airflow and stress on the gas engine camshaft variable valve lift types expected to describe the effect of the use of valve lift on the gas engine. In this simulation experiments using CFD approach (computational fluid dynamic) and structural stress with variable valve opening on the condition of default by 11.1 mm, openings increased by 16.65 mm or 1.5 times, 2 times by 22.205 mm, and 2.5 times by 27.7 mm. Where the results of the simulation showed that the condition of the valve from 11.1 mm to 22.205 mm increased the average air velocity and massflowrate, while at the opening valve 27.7 mm decreased average speed. The resulting stress value of the valve 11.1 mm to 27.7 mm continues to increase due to the force created in the spring getting into the valve then increasing the force on the spring.*

**Keywords :** variable valve lift, flow analysis, stress

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang selalu melimpahkan rahmat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “Analisa Aliran Udara Masuk dan Camshaft Stress pada Gas Engine Jenis Variable Valve Lift”. Skripsi berisi analisa udara dan camshaft stress berbasis pada simulasi 3D. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu penulis Sujiat wati yang selalu mendukung, memotivasi dan mendoakan sehingga penulis mampu berada pada posisi sekarang ini .
2. Bapak Dr. I Made Ariana, ST. MT. dan Bapak Semin, ST. MT. Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu serta motivasi selama proses pengerjaan.
3. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
4. Seluruh teman-teman Laboratorium Marine Power Plant, Laboratrium Mesin Fluida dan teman-teman angkatan teknik sisten perkapalan 2013 .
5. Kepada pengusaha fotokopy dan printer yang telah membantu mahasiswa selama ini dalam mengeprint laporan.
6. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran sangat dibutuhkan untuk memperbaiki penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan rekan mahasiswa.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 3
2.1 Studi Sebelumnya.....	3
2.2 Dasar Teori.....	4
2.2.1 Gas Engine .....	4
2.2.2 Pengapian pada Gas Engine .....	4
2.2.3 Bahan Bakar Gas .....	5
2.2.4 Honda VTEC.....	5
2.2.5 Katup Intake .....	7
2.2.6 Aliran Fluida .....	8
2.2.6.1 Tekanan .....	8
2.2.6.2 Aliran Mampu Mampat .....	8
2.2.6.3 Aliran Laminer dan Aliran Turbulen.....	8
2.2.7 CFD ( Computational Fluid Dynamic ).....	9
2.2.7.1 ANSYS Port Flow Simulation .....	9
2.2.8 Tegangan ( Stress ) .....	10
2.2.9 Hukum Hooke .....	10
2.2.10 Camshaft.....	11
2.2.11 Finite Elemenet Analisis (FEA) .....	12
 BAB III METODELOGI PENELITIAN .....	 15
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	16
3.2 Studi Literatur .....	16
3.3 Pengumpulan Data dan Spesifikasi Teknik Gas Engine .....	16
3.4 Membuat Pemodelan.....	16
3.5 Simulasi Aliran Udara dan Camshaft Stress .....	16
3.6 Analisa Data .....	17
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 19
4.1 Data Gas Engine yang Digunakan.....	19
4.2 Pemodelan Internal Combustion Engine .....	19

4.3 Simulasi Udara Masuk Menggunakan ANSYS .....	20
4.3.1 Port Flow Simulation.....	20
4.3.2 Performing dan Decomosing .....	21
4.3.3 Meshing .....	21
4.3.4 Solver.....	22
4.3.5 Boundary Condition .....	22
4.3.6 Setup .....	23
4.3.7 Menentukan Materi Fluida Masuk .....	24
4.3.8 Edit Valve Lift .....	24
4.3.9 Run Calculation .....	25
4.3.10 CFD Post .....	25
4.4 Hasil Simulasi Udara Masuk dan Pembahasan .....	27
4.4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk.....	27
4.4.2 Kecepatan Udara Maksimal yang Dapat terjadi .....	28
4.4.3 Perhitungan Reynold Number .....	29
4.4.4 Massa Aliran Udara.....	29
4.5 Penggambaran Camshaft .....	31
4.6 Stress Analysis.....	32
4.6.1 Gaya pada Spring .....	32
4.6.2 Static Structural .....	33
4.6.3 Engineering Data .....	34
4.6.4 Input Geometri.....	34
4.6.5 Input Gaya pada Model .....	35
4.6.6 Solution.....	35
4.6.7 Post .....	35
4.7 Hasil Simulasi Stress pada Camshaft dan Pembahasan.....	36
4.7.1 Deformasi dan Stress .....	36
4.8 Hubungan Hasil Simulasi dengan Penelitian Sebelumnya.....	37
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	 39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gas Engine MAN .....	6
Gambar 2.2 Proses Pengapian pada Gas Engine .....	7
Gambar 2.3 Perbedaan Profile Cam .....	9
Gambar 2.4 Engine at Low Speed .....	10
Gambar 2.5 Engine at High Speed .....	10
Gambar 2.6 Katup Intake .....	11

Gambar 2.7 Skema Simulasi Port Flow .....	14
Gambar 2.8 Osilasi Pegas.....	17
Gambar 2.9 Daerah pada Camshaft Lobe.....	18
Gambar 3.1 Data Gas Engine dari GT Power .....	24
Gambar 4.1 Engine Simulasi pada GT Power.....	27
Gambar 4.2 Model IC Engine .....	28
Gambar 4.3 Port Flow Simulation.....	29
Gambar 4.4 Data Geometri yang Diimport .....	30
Gambar 4.5 Hasil Meshing.....	31
Gambar 4.6 Bondary Condition .....	32
Gambar 4.7 Fluent Launcher.....	33
Gambar 4.8 Material yang Dipilih .....	34
Gambar 4.9 Properties Design Point Sebagai Parameter Valve Lift.....	34
Gambar 4.10 Kalkulasi.....	35
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Udara Masuk .....	36
Gambar 4.12 Perhitungan Kecepatan Rata-Rata .....	37
Gambar 4.13 Pemodelan Camshaft dengan dengan Valve Lift 11.1 mm dan 16.65mm .....	43
Gambar 4.14 Pemodelan Camshaft dengan Valve Lift 11.1 mm dan 22.205 mm ..	44
Gambar 4.15 Pemodelan Camshaft dengan Valve Lift 11.1 mm dan 27.7 mm.....	44
Gambar 4.16 Simulasi Spring .....	45
Gambar 4.17 Static Structural .....	46
Gambar 4.18 Engineering Data .....	47
Gambar 4.19 Geometry yang Telah Digenerate .....	48
Gambar 4.20 Masukkan Gaya pada Camshaft .....	49
Gambar 4.21 Hasil Simulasi Deformasi.....	50
Gambar 4.22 Hasil Simulasi Stress .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Buka-an Valve dan Power pada Gas Engine5	
Tabel 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk .....	37
Tabel 4.2 Kecepatan Maksimal Udara Masuk .....	39
Tabel 4.3 Massa Aliran Udara.....	41
Tabel 4.4 Gaya pada Spring .....	45
Tabel 4.5 Nilai Deformasi dan Sress yang Terjadi.....	51

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk .....	38
Grafik 4.2 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk .....	38
Grafik 4.3 Kecepatan Maksimal Udara Masuk .....	39
Grafik 4.4 Kecepatan Maksimal Udara Masuk .....	40
Grafik 4.5 Massa Aliran Udara .....	42

Grafik 4.6 Massa Aliran Udara.....	42
Grafik 4.7 Deformasi Maksimal.....	51
Grafik 4.8 Stress Maksimal .....	52



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pentingnya power dari mesin sangat dibutuhkan oleh kehidupan sehari-hari seperti penggerak propeller kapal, penggerak kereta api, penggerak mobil, pembangkit listrik, industri pabrik dan lain sebagainya. Power dari mesin akan menentukan dimensi mesin pada umumnya. Semakin besar power maka dimensi mesin akan semakin besar.

Mesin-mesin yang masih konvensional dalam meningkatkan power mesin dilakukan dengan mengubah dimensi mesin menjadi lebih besar. Dengan perkembangan teknologi saat ini memperbesar mesin dirasa kurang efisien dan ekonomis. Perkembangan teknologi khususnya motor bakar ditujukan untuk pengembangan efisiensi dan peningkatan power. Dengan Efisiensi dan peningkatan power diharapkan engine memiliki dimensi yang kecil namun memiliki power yang besar.

Variable valve lift merupakan salah satu teknologi saat ini yang digunakan pada motor bakar untuk meningkatkan power dengan cara mengontrol aliran fluida masuk yang lebih banyak ke ruang bakar. Penggunaan Variable valve lift sering dijumpai pada mesin-mesin darat seperti Honda, BMW, Mitsubishi, dan lain sebagainya. Namun penggunaan untuk mesin-mesin dilaut (*marine use*) masih sangat jarang khususnya pada gas engine.

Pada beberapa penelitian diketahui bahwa variable valve lift berpengaruh terhadap suplai udara sehingga menghasilkan power yang lebih besar pada bukaan valve yang lebih dalam. Namun penelitian lebih lanjut tentang aliran fluida masuk dan stress pada camshaft dari gas engine yang terjadi akibat variable valve lift masih perlu dilakukan. Pada penelitian ini akan dianalisa aliran fluida masuk dan stress pada camshaft yang terjadi pada gas engine yang menggunakan Variable Valve Lift. Analisa aliran dan stress pada camshaft dilakukan secara 3D menggunakan penggambaran pada software SOLIDWORK dan INVENTOR dan menganalisa aliran udara masuk dan stress dengan software ANSYS yang berbasis pada simulasi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kecepatan dan massa aliran udara pada saat udara masuk pada gas engine 6 silinder akibat variable valve lift ?
2. Bagaimana stress yang terjadi pada camshaft akibat variable valve lift pada gas engine 6 silinder ?
3. Bagaimana kombinasi bukaan valve yang paling tepat pada gas engine 6 silinder ?

**1.3 Tujuan.**

1. Mengetahui kecepatan dan massa aliran udara pada saat udara masuk di gas engine 6 silinder akibat variable valve lift.
2. Mengetahui stress yang terjadi pada camshaft akibat variable valve lift pada gas engine 6 silinder.
3. Mengetahui kombinasi bukaan valve yang paling tepat pada gas engine 6 silinder ?

**1.4 Batasan Masalah:**

1. Analisa fluida dilakukan pada saat udara masuk saja pada kondisi bukaan valve maksimum 11,1 mm ; 16,65 mm ; 22,205 mm, dan 27.7 mm.
2. Analisa Stress dilakukan berdasarkan gaya yang ditimbulkan oleh spring pada bukaan valve maksimum.
3. Mengabaikan percampuran bahan bakar gas dan udara.
4. Mengabaikan suhu pada camshaft.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Sebelumnya

Pada penelitian tentang kajian variable valve lift pada gas engine dengan judul “*Kajian Variable Valve Lift Pada Gas Engine Dengan Berbasis Pada Simulasi*” oleh **Laurensius Henry** memodifikasi gas engine 6 silinder dengan spesifikasi diameter bore 117 mm, stroke 175 mm, dan ratio kompresi 14.5 dimodifikasi bukaan maksimum valve yang semula default 11.1 mm, diubah 1.5 kali lebih dalam pada bukaan valve 16.65 mm, 2 kali lipat pada 22.205 mm, dan 2.5 kali lipat pada 27.7 mm. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa semakin tinggi bukaan valve maka power yang dihasilkan semakin tinggi hal ini dapat dilihat pada table 2.1. Namun pada bukaan valve 2.5x mod rata-rata mengalami penurunan power.

Dari kesimpulan yang didapat pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa besarnya bukaan katup yang tepat atau paling efektif adalah 11,1 mm dengan mode *Default* dan 22,2 mm dengan mode *2.0x Modified*

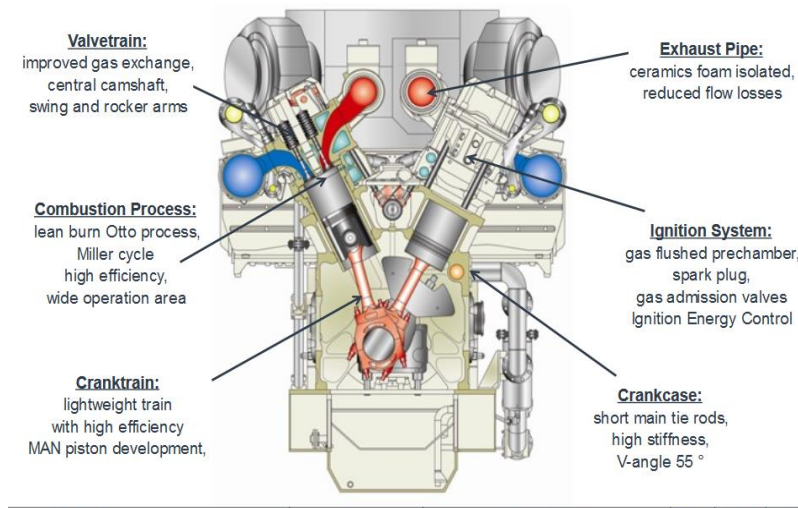
Namun kekurangan dari kajian tersebut belum melakukan analisa terhadap aliran udara masuk dan stress pada camshaft akibat variasi bukaan valve.

Engine Speed	BHP (Default)	BHP (1.5x Mod)	BHP (2.0x Mod)	BHP (2.5x Mod)
RPM	kW	kW	kW	kW
2800	598.27	620.81	629.75	633.34
2600	600.44	623.92	632.41	635.17
2400	592.70	618.38	627.50	629.00
2200	593.04	617.51	624.98	624.36
2000	582.08	606.52	611.38	606.56
1800	532.26	551.18	549.38	537.25
1600	444.99	456.22	452.61	442.42
1400	332.37	336.27	333.51	327.31
1200	198.52	197.85	195.99	192.65
1000	115.70	114.30	112.94	110.64
800	73.08	72.20	71.18	69.99
600	49.93	49.76	49.43	48.92

**Tabel 2.1 Perbandingan Bukaan Valve dan Power pada Gas Engine**

## 2.2 Dasar Teori

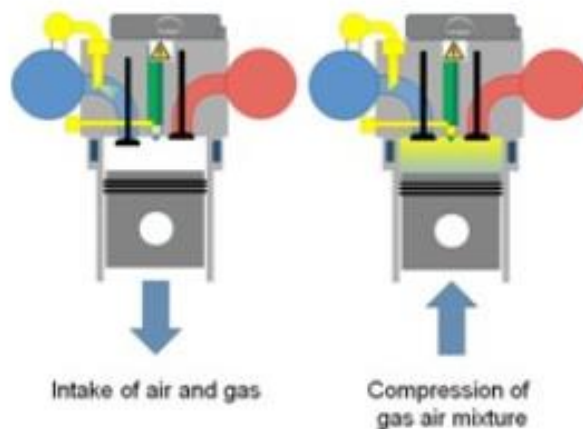
### 2.2.1 GasEngine

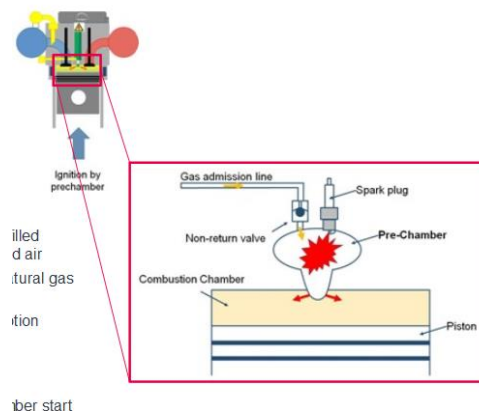


**Gambar 2.1 Gas Engine MAN**

Gas engine didasarkan pada prinsip mesin otto , dimana penggunaan busi atau spark plug untuk menyalakan bahan bakar sebagai langkah pengapian atau ignition. Pada gas engine campuran gas dan udara bersih memasuki combustion chamber terlebih dahulu saat langkah hisap. Kemudian saat kompresi sebelum mencapai TMA bahan bakar gas diinjeksikan pada prechamber, didalam prechamber gas dipantik oleh busi atau spark plug kemudian terbakar terlebih dahulu sebelum masuk ke chamber utama atau combustion chamber.

### 2.2.2 Pengapian pada Gas Engine





**Gambar 2.2 Proses Pengapian pada Gas Engine**

Proses Pengapian :

1. Combustion chamber utama akan diisi oleh udara bersih dan campuran gas alam pada langkah hisap.
2. Pada langkah kompresi gas dan udara di campur dan dikompresi di chamber utama atau combustion chamber.
3. Sebelum mencapai TMA gas diinjeksikan ke prechamber dan dipantik oleh busi atau spark plug kemudian terbakar menuju chamber utama atau combustion chamber.

### 2.2.3 Bahan Bakar Gas

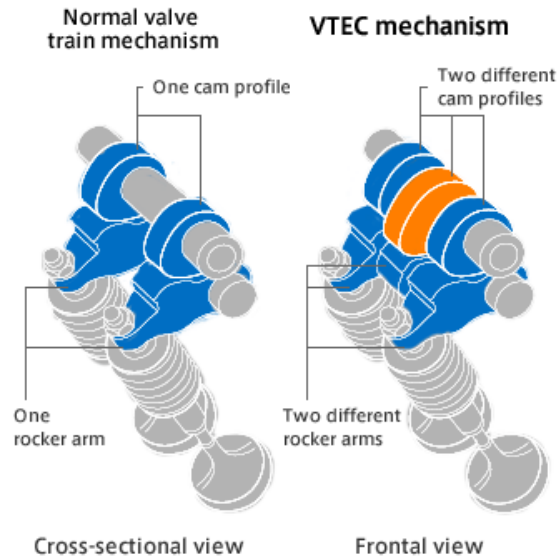
Penggunaan bahan bakar gas dibidang otomotif yang umum adalah CNG (Compressed Natural Gas) atau LGV (Liquid Gas Vehicle). Hanya saja ada perbedaan dari kedua penggunaan bahan bakar gas tersebut. CNG adalah gas alam berupa metana ( $\text{CH}_4$ ) sedangkan LGV adalah campuran gas hidrokarbon ( $\text{C}_3\text{-C}_4$ ) yang mana penyusun utamanya adalah propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), gas ini dihasilkan dari penyulingan minyak bumi (LPG, Liquid Petroleum Gas) atau dari gas alam metana melalui suatu proses synthesis.

### 2.2.4 Honda VTEC

VTEC (*Variable Valve Timing dan Lift Electronic Control*) adalah sistem yang dikembangkan oleh Honda untuk meningkatkan efisiensi volumetrik dari *four-stroke internal combustion engine*. Sistem VTEC menggunakan dua profil camshaft dan aktuasi hidrolis. Sistem VTEC menyediakan motor bakar dengan valve timing untuk operasi RPM rendah dan tinggi

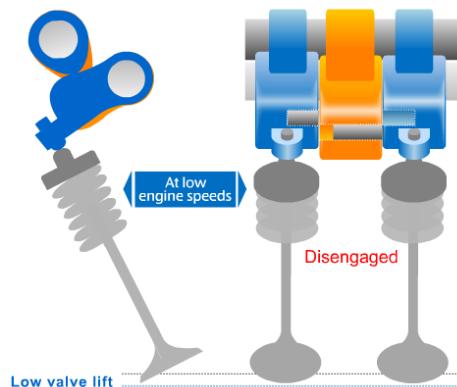
Mekanisme sederhana beralih antara putaran tinggi dan rendah dengan mengangkat katup menggunakan dua profil cam dan dua lengan rocker per silinder. Saklar dibuat menggunakan tekanan hidrolis untuk mendorong / melepaskan pin

geser, mengunci / membuka rocker arm tengah dan lengan rocker lainnya. Pada kecepatan mesin rendah, pin ditarik, melepaskan diri dari rocker arm tengah. Katup dioperasikan oleh dua cam, *low-profile cams* untuk mengangkat katup rendah. Pada kecepatan mesin yang lebih tinggi, peningkatan tekanan hidrolik mendorong pin, sehingga terlibat rocker arm tengah. Katup dioperasikan pada pertengahan, *high-profile cams* untuk mengangkat katup tinggi.



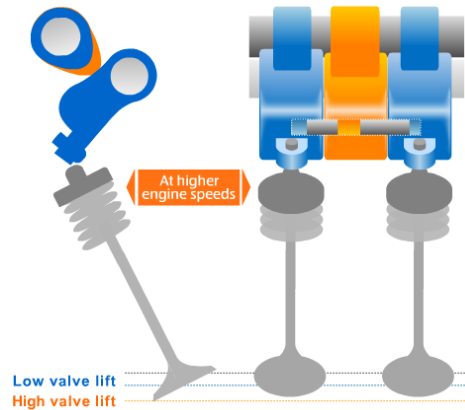
**Gambar 2.3 Perbedaan Profil cam**

Pada kecepatan mesin yang rendah, tekanan hidrolik oli juga rendah. Pada saat itu pin melepaskan diri dari pin pengikat rocker arm tengah atau rocker arm tengah belum terikat. Sehingga hanya dua rocker arm yang bekerja. Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 2.4** (*Honda Technology Picture Book / VTEC, 2016*)



**Gambar 2.4 Engine at Low Speed**

Pada saat kecepatan mesin tinggi tekanan hidrolik oli yang tinggi akan mendorong pin masuk ke pin pengikat rocker arm tengah. Sehingga tiga rocker arm bekerja dengan gaya angkat menyesuaikan rocker arm tengah. Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 2.5** (*Honda Technology Picture Book / VTEC, 2016*)

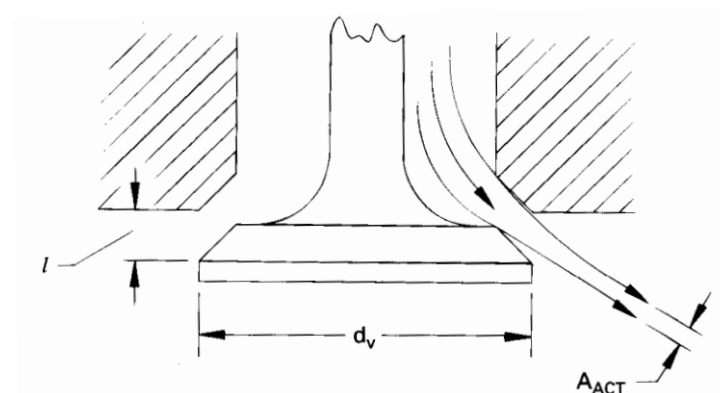


**Gambar 2.5 Engine at High Speed**

### 2.2.5 Katup Intake

Katup intake kebanyakan mesin adalah katup yang ditutup oleh dorongan pegas dan terbuka pada siklus yang tepat oleh camshaft mesin. Beberapa katup langka adalah katup rotari atau katup lengan, ditemukan di beberapa mesin.

Klep dan dudukan klep sebagian besar terbuat dari paduan baja keras atau, dalam beberapa kasus langka, keramik. Mereka terhubung dengan hydromechanical atau mekanik ke camshaft. Idealnya, mereka akan membuka dan menutup hampir seketika pada waktu yang tepat. Ini tidak mungkin dalam sistem mekanik, dan bukaan dan penutupan klep yang lebih lambat untuk menghindari keausan, kebisingan, dan obrolan. Lobus pada camshaft dirancang untuk memberikan pembukaan cepat tapi halus dan menutup tanpa tabrakan antarmuka mekanik. Hal ini memerlukan margin dalam kecepatan aktuasi katup.



**Gambar 2.6 Katup Intake**

Pada awalnya mesin memiliki camshaft dipasang dekat dengan crankshaft dan katup dipasang di blok mesin. Kemudian seiring dengan berkembangnya teknologi ruang pembakaran, katup dipindahkan ke kepala silinder (katup overhead), dan sistem mekanika panjang (*push rods, rocker arms, tappets*) dibutuhkan. Hal ini ditingkatkan dengan pemasangan camshaft di kepala mesin (yaitu, *overhead cam engine*). Kebanyakan mesin mobil modern memiliki satu atau dua camshaft dipasang di kepala silinder. Semakin dekat camshaft dipasang ke batang katup, semakin besar efisiensi mekanik dari sistem.

Jarak terbukanya antara katup dan kedudukan katup (Gambar 2.6) disebut valve lift dan umumnya beberapa milimeter atau beberapa sentimeter, tergantung pada ukuran motor bakar. (*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Willard W. Pulkrabek, 2003*).

## 2.2.6 Aliran Fluida

### 2.2.6.1 Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai gaya normal yang diberikan oleh fluida per satuan luas. Kita berbicara tentang tekanan hanya ketika kita berurusan dengan gas atau cairan. Counterpart tekanan dalam padatan adalah stres yang normal. Karena tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, ia memiliki unit newton per meter persegi ( $\text{N/m}^2$ ), yang disebut pascal (Pa). Itu adalah,

$$1 \text{ Pa} = 1 (\text{N/m}^2)$$

Unit Tekanan pascal terlalu kecil untuk tekanan yang dihadapi dalam praktek. Oleh karena itu, kelipatannya kilopascal ( $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ ) dan megapascal ( $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ ) yang umum digunakan. Tiga unit tekanan lain yang umum digunakan dalam praktek, terutama di Eropa, bar, standar atmosfer dan kilogram-force per sentimeter persegi:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ KPa}$$

$$1 \text{ Atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ Kpa} = 1.01325 \text{ Bars}$$

$$1 \text{ Kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.9807 \text{ bar} = 0.9679 \text{ Atm}$$

### 2.2.6.2 Aliran Mampu Mampat

Aliran mampu mampat pada gas sempurna yang mempunyai panas-panas jenis yang konstan dan memenuhi hukum :

$$P = \rho RT$$

Dimana P adalah tekanan mutlak, T adalah suhu mutlak,  $\rho$  kerapatan, dan R adalah konstanta gas.

### 2.2.6.3 Aliran Laminer dan Aliran Turbulen

Aliran laminar berdefiniskan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina, dengan satu lapisan meluncur secara lancar



pada lapisan yang bersebelahan dengan saling tukar momentum secara molecular saja. Kecendrungan ke arah kestabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Namun, aliran turbulen mempunyai gerakan partikel-partikel fluida yang sangat tidak menentu, dengan saling tukar momentum dalam arah melintang yang dahsyat. Sifat pokok aliran yaitu apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecendrungan turbulen terhadap kecendrungan laminar ditunjukkan oleh bilangan *reynolds*.

Reynold mendapatkan bahwa kelompok tanpa-dimensi  $ul\rho/\mu$ . Besaran  $u$  ialah suatu kecepatan karakteristik,  $l$  suatu panjang karakteristik,  $\rho$  kerapatan massa, dan  $\mu$  adalah viskositas. Kelompok atau parameter ini disebut bilangan *Reynolds R*.

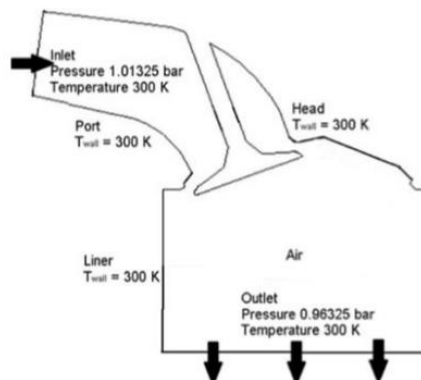
$$R = ul\rho/\mu$$

Dengan bertitik tolak aliran turbulen didalam tabaung kaca, Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian hingga  $R$  lebih kecil daripada 2000. Inilah bilangan Reynolds kritis bawah untuk aliran pipa yang penting artinya dalam praktek. Dengan instalasi pipa yang biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Reynolds dari 2000 sampai 4000.

### 2.2.7 CFD ( Computational Fluid Dynamic )

komputasi dinamika fluida (CFD) adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer yang digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi cairan dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas. Dengan superkomputer berkecepatan tinggi, solusi yang lebih baik dapat dicapai. Contoh software CFD dari ANSYS adalah : ANSYS IC ENGINE, ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, dan lain-lain.

#### 2.2.7.1 ANSYS Port Flow Simulation



**Gambar 2.7 Skema Simulasi Port Flow**

Port flow simulation merupakan simulasi fluida masuk pada salah satu port yakni intake dan mengabaikan exhaust pada motor bakar dalam. Fluida masuk selanjutnya akan masuk ke chamber dan keluar pada sisi outlet plenum. Input atau masukkan pada inlet yakni tekanan, temperature dinding atau wall temperature, dan bukaan valve dari model.

### 2.2.8 Tegangan ( Stress )

Tegangan (stress) pada benda, misalnya kawat besi, didefinisikan sebagai gaya persatuan luas penampang benda tersebut. Tegangan diberi simbol  $\sigma$  (dibaca sigma). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma = F/A$$

Keterangan:

F : besar gaya tekan/tarik (N)

A : luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\sigma$  : tegangan (N/m<sup>2</sup>)

Bila dua buah kawat dari bahan yang sama tetapi luas penampangnya berbeda diberi gaya, maka kedua kawat tersebut akan mengalami tegangan yang berbeda. Kawat dengan penampang kecil mengalami tegangan yang lebih besar dibandingkan kawat dengan penampang lebih besar. Tegangan benda sangat diperhitungkan dalam menentukan ukuran dan jenis bahan penyangga atau penopang suatu beban, misalnya penyangga jembatan gantung dan bangunan bertingkat.

### 2.2.9 Hukum Hooke

Gerak harmonik sederhana adalah gerak osilasi yang periodik dan tidak pernah teredam yang biasanya mengikuti Hukum Hooke (bahwa gaya akan berbanding lurus dengan perubahan gerak) gerak harmonik secara umum terdiri atas gerak harmonik sederhana dan gerak harmonik teredam. Gerak harmonik sederhana adalah gerak periodik dengan lintasan yang ditempuh selalu sama (tetap). Gerak harmonik sederhana mempunyai persamaan gerak dalam bentuk sinusoidal dan digunakan untuk menganalisis suatu gerak periodik tertentu. Gerak periodik adalah gerak berulang atau berosilasi melalui titik setimbang dalam interval waktu tetap. Gerak harmonik sederhana dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

- a. Gerak harmonik sederhana linier, misalnya penghisap dalam silinder gas, gerak osilasi air raksa/air dalam pipa U, gerak horizontal atau vertikal dalam pegas, dan sebagainya.
- b. Gerak harmonik sederhana angular, misalnya gerak bandul, bandul fisis, osilasi ayunan torsi, dan sebagainya.

Sistem pegas adalah sebuah pegas dengan konstanta pegas (k) dan diberi massa pada ujungnya dan diberi simpangan sehingga membentuk gerak harmonik. Gaya yang berpengaruh pada system pegas adalah gaya Hooke. Gerak harmonik sederhana disebabkan oleh gaya pemulih atau gaya baliklinier (F), yaitu resultan

gaya yang arahnya selalu menuju titik kesetimbangan dan besarnya sebanding dengan simpangannya, dimana arah gaya selaluberlawanan dengan arah simpangannya.

Sehingga Hukum Hooke :

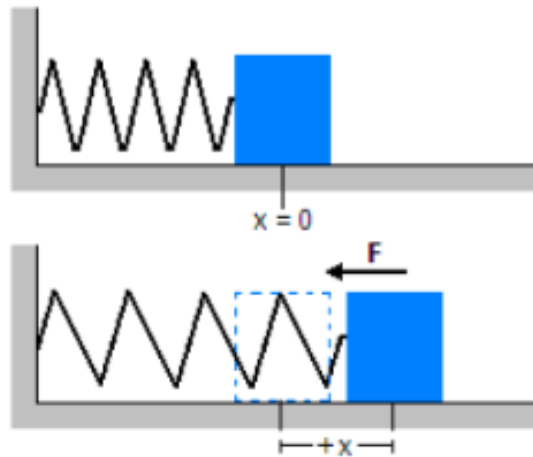
$$F = - Kx$$

Dimana :

k = ketetapan gaya/konstanta pegas

x = simpangan (m)

F = gaya pemulih (N)

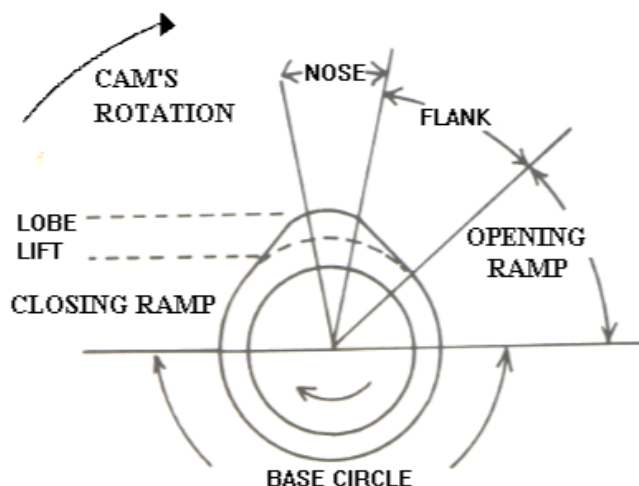


**Gambar 2.8 Osilasi Pegas**

### 2.2.10 Camshaft

Camshaft adalah sebuah alat yang digunakan dalam mesin untuk menjalankan poppet valve. Dia terdiri dari batangan silinder. Cam membuka katup dengan menekannya, atau dengan mekanisme bantuan lainnya, ketika mereka berputar.

Hubungan antara perputaran camshaft dengan perputaran poros engkol sangat penting. Karena katup mengontrol aliran masukan bahan bakar dan pengeluarannya, mereka harus dibuka dan ditutup pada saat yang tepat selama langkah piston. Untuk alasan ini, camshaft dihubungkan dengan crankshaft secara langsung (melalui mekanisme gear) atau secara tidak langsung melalui rantai yang disebut rantai waktu.



**Gambar 2.9 Daerah pada Camshaft Lobe**

Camshaft berputar searah jarum jam. Empat daerah diidentifikasi mulaidari bawah dalam arah berlawanan arah jarum jam: lingkaran dasar (base circle), bukaan ramp (opening ramp), hidung (nose) dan penutup ramp (closing ramp). Setiap daerah diidentifikasi oleh lokasi derajat, mulai dari  $0^\circ$  di hidung,  $60^\circ$  closing ramp,  $180^\circ$  di lingkaran dasar, dan  $300^\circ$  opening ramp.

Keausan camshaft lobe disebabkan oleh gesekan antara cam lobus dan cam follower, pelumasan tidak mencukupi, berlebihan ketegangan pegas katup, berlebihan cambukan katup, kegagalan pengangkat hidrolik, dan minyak kotor akan memberikan kontribusi untuk awal dan cepat aus.

#### **2.2.11 FEA ( Finite Element Analisis )**

Finite Element Analisis (FEA) adalah pemodelan produk dan sistem dalam lingkungan virtual, untuk tujuan menemukan dan memecahkan potensial (struktural atau masalah performa. FEA adalah aplikasi praktis dari metode elemen hingga atau Finite Element Method (FEM), yang digunakan oleh para insinyur dan ilmuwan untuk model matematis dan numerik memecahkan sangat kompleks struktur, cairan, dan masalah multiphysics. software FEA dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri, tetapi yang paling umum digunakan dalam industri penerbangan, biomekanik dan otomotif.

Sebuah model elemen hingga atau Finite Element (FE) terdiri dari sistem poin, yang disebut "node", yang membentuk bentuk desain. Yang terhubung ke node ini adalah elemen hingga itu sendiri yang membentuk mesh elemen hingga dan mengandung bahan dan sifat struktur model, mendefinisikan bagaimana hal itu akan bereaksi terhadap kondisi tertentu. Kerapatan mesh elemen hingga bervariasi di seluruh materi, tergantung pada perubahan diantisipasi di tingkat stres dari daerah tertentu. Daerah yang mengalami perubahan stres tinggi biasanya membutuhkan kerapatan mesh yang lebih tinggi daripada mereka yang mengalami sedikit atau tidak ada variasi stres. Daerah uji (Point of interest) mungkin termasuk poin fraktur bahan diuji, fillet, sudut, rinci kompleks, dan daerah-stres yang tinggi.

Contoh Analisa FEA adalah : Structural analysis, Thermal analysis, Vibrations and dynamics, Buckling analysis, Fluid flow simulations, Crash simulations dan lain-lain.

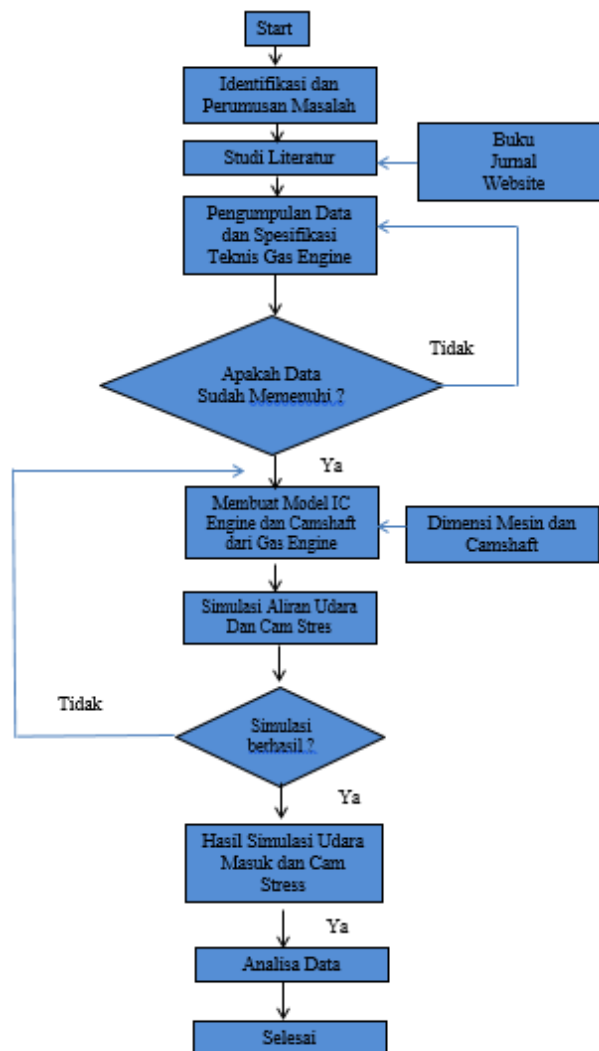
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan adalah mengumpulkan data dari gas engine 6 silinder yang menggunakan variable valve lift untuk kemudian data dibuat secara 3D menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor* dan *Solidwork*. Bentuk 3D yang dibuat yakni bentuk *internal combustion model* dan *camshaft*. Kemudian bentuk tersebut disimulasikan menggunakan aplikasi *Ansys* untuk menganalisa bentuk aliran udara dan stress pada camshaft dari gas engine.

#### Flow Chart



### 3.1 Identifikasi Dan Perumusan Masalah

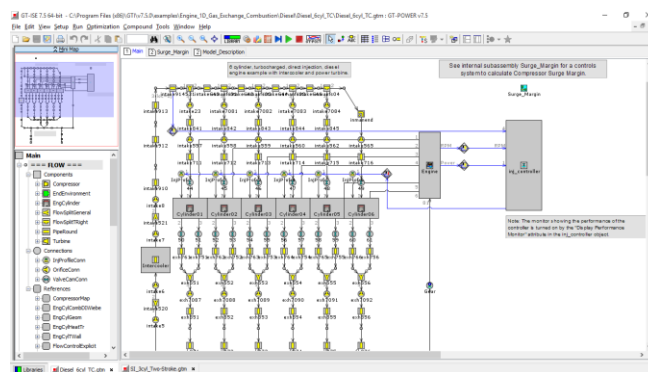
Tahap memulai identifikasi masalah yang belum pernah tepecahkan. Dengan berlatar-belakang permasalahan analisa udara masuk dan camshaft stress pada gas engine 6 silinder. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana kecepatan, massa aliran udara, stress pada camshaft, dan perbandingan kecepatan, massa aliran udara, dan stress akibat variable valve lift pada gas engine 6 silinder.

### 3.2 Studi Literatur

Studi literature merupakan tahap pencarian dasar teori yang dijadikan landasan untuk melakukan penelitian. Bahan untuk studi literature didapat dari buku, jurnal, dan website. Studi literature yang digunakan mengacu pada penggunaan variable valve lift pada engine dan analisa camshaft stress.

### 3.3 Pengumpulan Data dan Spesifikasi Teknis Gas Engine

Merupakan tahap pengumpulan data dan spesifikasi teknis gas engine yang nantinya akan digunakan untuk membuat pemodelan secara tepat. Pengumpulan data menggunakan aplikasi GT-Power untuk diambil data dimensi engine yang diinginkan. Data dimensi engine yakni pada gas engine 6 silinder yang pernah dikaji oleh Laurensius Henry dengan judul penelitian “Kajian Variable Valve Lift Pada Gas Engine Dengan Berbasis Pada Simulasi”



**Gambar 3.1 Data Gas Engine dari GT power**

### 3.4 Membuat Pemodelan

Proses pemodelan dilakukan untuk melakukan penelitian dan menganalisa aliran udara yang terjadi dan camshaft stress ketika variable valve lift digunakan pada gas engine 6 silinder. Pemodelan dilakukan dengan membuat model internal combustion dan camshaft dari gas engine secara 3D dengan Autodesk Inventor dan Solidwork.

### 3.5 Simulasi Aliran Udara dan Camshaft Sress

Simulasi aliran udara menggunakan software ANSYS IC Engine dengan variasi bukaan valve 11.1 mm, 16.65 mm, 22.205 mm, dan 27.7 mm mm pada gas



engine 6 silinder yang data dimensinya berdasarkan GT power. Pada simulasi ini digunakan gas ideal sebagai massa fluida yang akan memasuki ruang chamber pada saat intake.

Simulasi stress dilakukan menggunakan ANSYS structural berdasarkan data-data gaya yang dihasilkan spring dari bukaan valve 11.1 mm, 16.65 mm, 22.205 mm, dan 27.7 mm pada gas engine 6 silinder.

### **3.6 Analisa Data**

Data-data yang diperoleh melalui pemodelan nantinya akan dianalisa sebagai langkah identifikasi aliran udara yang terbentuk dan camshaft stress yang terjadi. Data kemudian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah pembacaan dan penarikan kesimpulan.

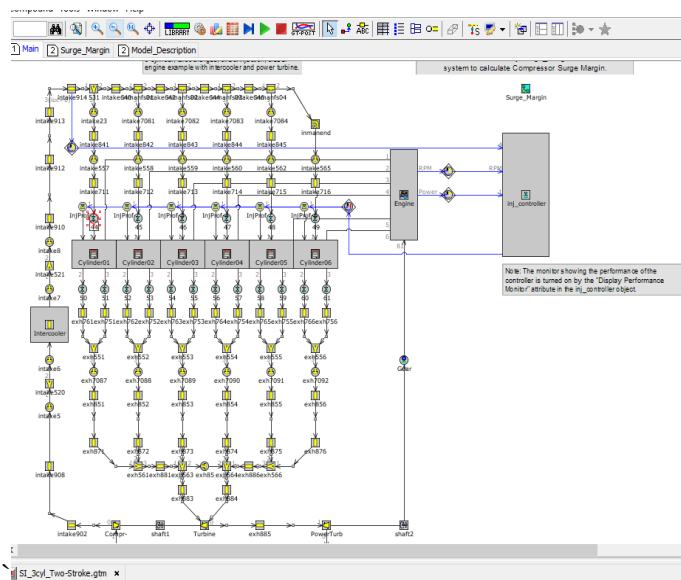
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Engine yang Digunakan

Data diambil berdasarkan data gas engine simulasi yang berasal dari software GT Power :

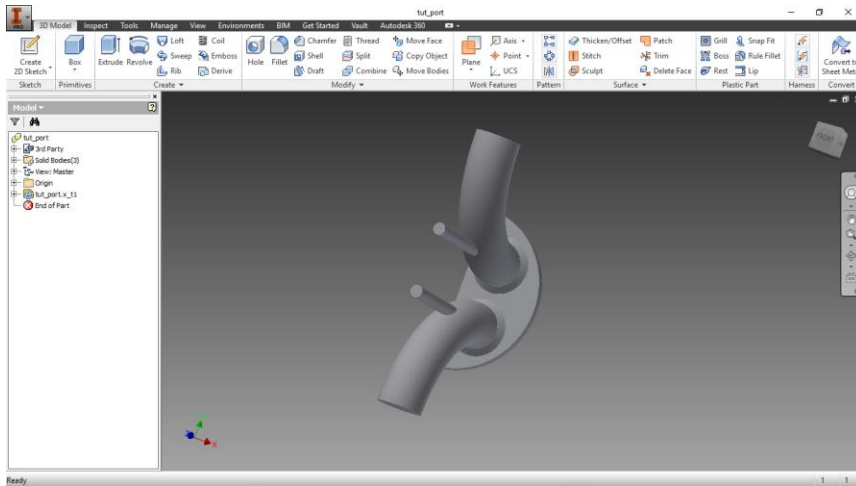


**Gambar 4.1 Engine Simulasi pada GT Power**

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| 1) Jumlah Silinder       | : 6      |
| 2) Bore                  | : 117 mm |
| 3) Stroke                | : 175 mm |
| 4) Rasio Kompresi        | : 14,5   |
| 5) Diameter Intake pipe  | : 55 mm  |
| 6) Panjang Intake pipe   | : 80 mm  |
| 7) Diameter Intake Valve | : 60 mm  |

#### 4.2 Pemodelan Internal Combustion

Pembuatan model didasarkan pada data engine yang didapat dari GT Power. Penggambaran dilakukan dengan menggambar diameter Bore, penggambaran valve intake, valve exhaust, diameter pipa intake dan penggambaran pipa exhaust.



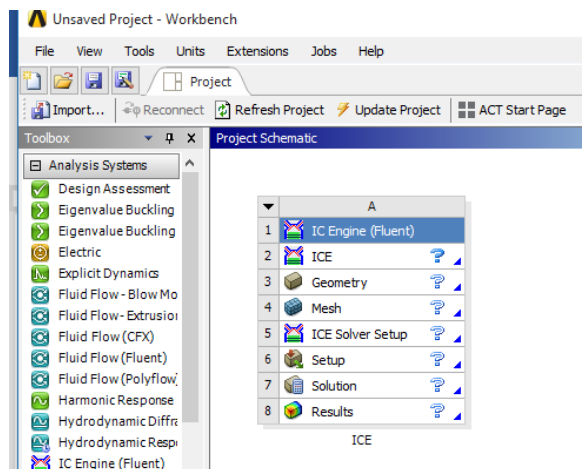
**Gambar 4.2 Model IC engine**

### 4.3 Simulasi Udara Masuk Menggunakan Ansys.

Model Internal Combustion dari mesin yang telah dibuat pada langkah sebelumnya selanjutnya disimulasikan dengan software CFD yakni ANSYS. Tujuan CFD untuk mengetahui persebaran kecepatan ketika udara dimasukkan ke dalam model.

#### 4.3.1 Port Flow Simulation

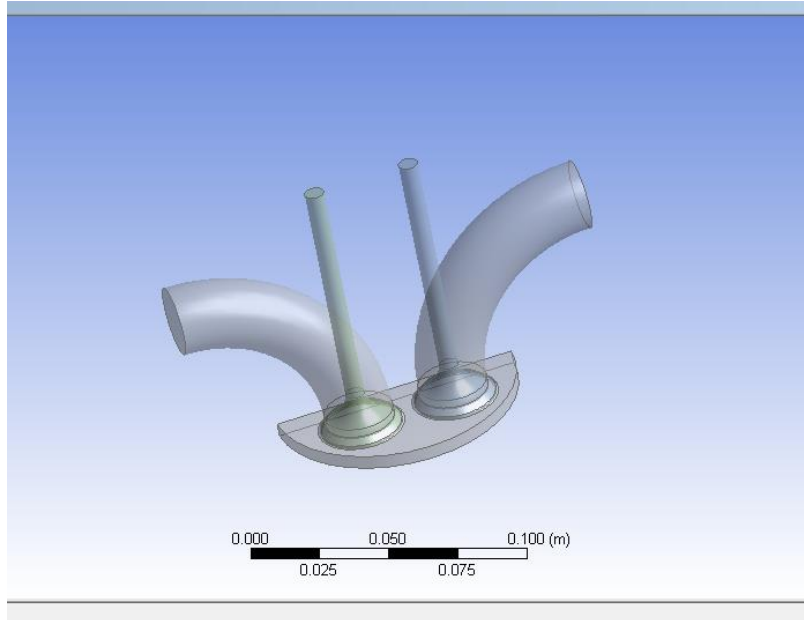
Port flow simulation merupakan langkah analisa fluida dimana hanya satu jalur atau satu port saja yang akan dianalisa yakni pada kondisi udara masuk saja. Port flow dipilih karena analisa yang dilakukan hanya pada satu jalur yakni jalur intake saja dan mengabaikan jalur exhaust.



**Gambar 4.3 Port Flow Simulation**

#### 4.3.2 Performing dan Decomposing

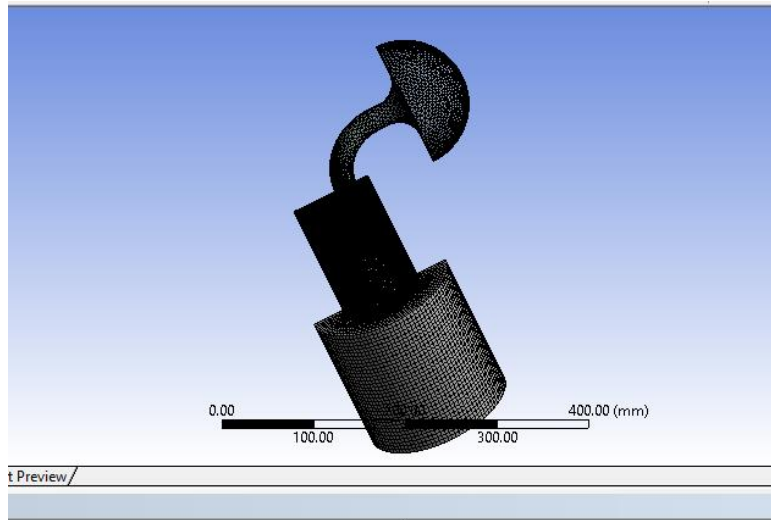
Performing dan Decomposing merupakan langkah untuk menginput geometri dan mengkomposisi geometri. Pada langkah ini ditentukan dimana udara akan masuk, dimana udara akan keluar, serta memilih valve untuk intake dan exhaust.



**Gambar 4.4 Data Geometri yang diimport**

#### 4.3.3 Meshing.

Langkah ini bertujuan untuk membuat luasan-luasan daerah yang akan dijadikan proses perhitungan analisa oleh software. Semakin kecil luasan yang diberikan maka akan semakin detail perhitungan. Namun akan semakin lama pula proses meshing yang akan dilakukan.



**Gambar 4.5 Hasil Meshing**

#### 4.3.4 Solver

Proses solver CFD bertujuan untuk melakukan proses pengolahan data dengan perhitungan numerik computer dari semua parameter-parameter yang ditentukan pada domain dan boundary condition.

Pada tahap ini, parameter yang digunakan adalah :

Maksimum iteration : 1200

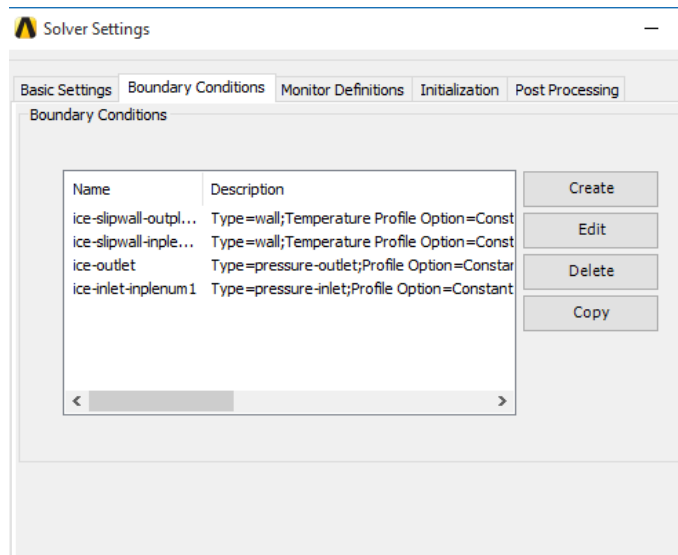
Timescale control : Automatic time scale.

Iterasi diatas digunakan untuk memperoleh konvergensi, yaitu kesesuaian ( matching ) antara input dan output. Semakin kecil selisih konvergensi maka hasil akan semakin akurat.

#### 4.3.5 Boundary Condition

Adalah input parameter dimana keadaan disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya. Parameter input yang digunakan adalah :

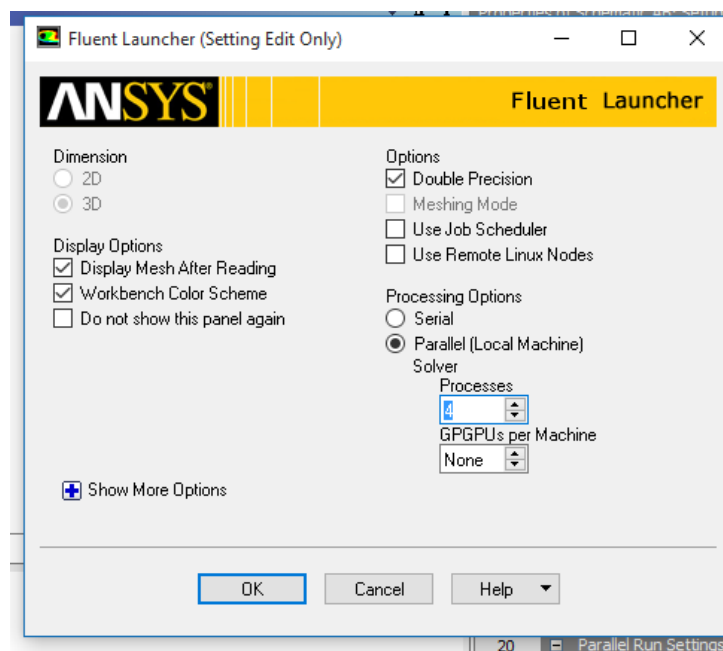
**Pressure inlet 335000 Pa atau 3.35 bar** dan temperature wall atau dinding dari geometri **450 K**. Parameter ini didapat dari data GT Power pada Gas engine 6 silinder.



**Gambar 4.6 Boundary Condition**

#### 4.3.6 Setup

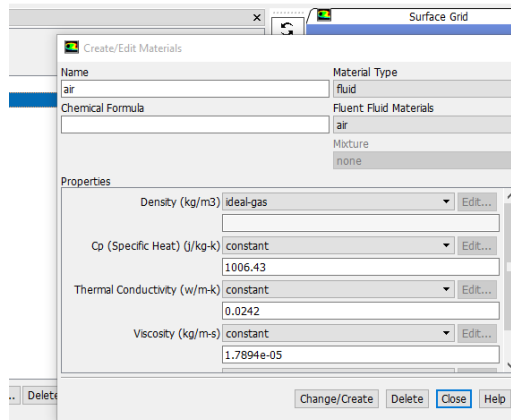
Setup adalah proses perhitungan atau kalkulasi yang akan diproses oleh software. Pada proses parallel menentukan jumlah prosesor dalam computer, semakin banyak prosesor maka semakin cepat running yang dilakukan. Sebaliknya apabila running menggunakan serial atau satu prosesor akan membutuhkan waktu yang cukup lama yakni hampir 2 hari.



**Gambar 4.7 Fluent Launcher**

### 4.3.7 Menentukan Materi Fluida Masuk

Pada simulasi ini dipilih material udara yang masuk adalah gas ideal dengan massa jenis  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .



**Gambar 4.8 Material yang Dipilih**

### 4.3.8 Edit Valve Lift

Table of Design Points			
	A	B	C
1	Name	Update Order	P1 - InputManager1.FD1
2	Units		mm
3	DP 2 (Current)	1	11.1
*			

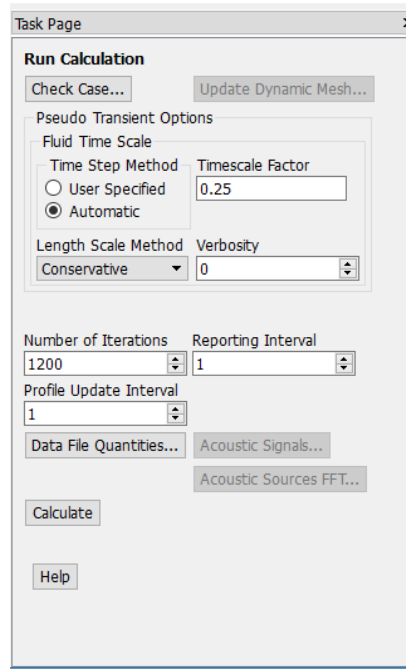
Chart: No data

**Gambar 4.9 Properties Design Point Sebagai Parameter Valve Lift**

Pada proses ini akan dimodifikasi valve lift yang akan terjadi pada proses kalkulasi nantinya yakni **11.1 mm, 16.65 mm, 22.205 mm, dan 27.7 mm** yang nantinya penelitian ini akan dibandingkan kecepatan dan massa aliran udara pada bukaan valve tersebut.



### 4.3.9 Run Calculation

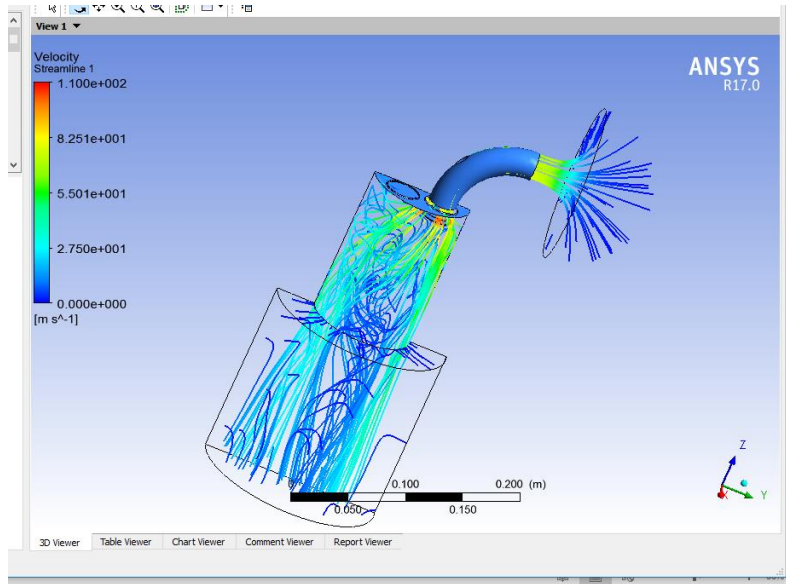


**Gambar 4.10 Kalkulasi**

Merupakan perhitungan komputer guna menganalisa aliran fluida melalui inputan yang telah dimasukkan sampai iterasi selesai dilakukan sehingga diperoleh data yang konvergen.

### 4.3.10 CFD Post

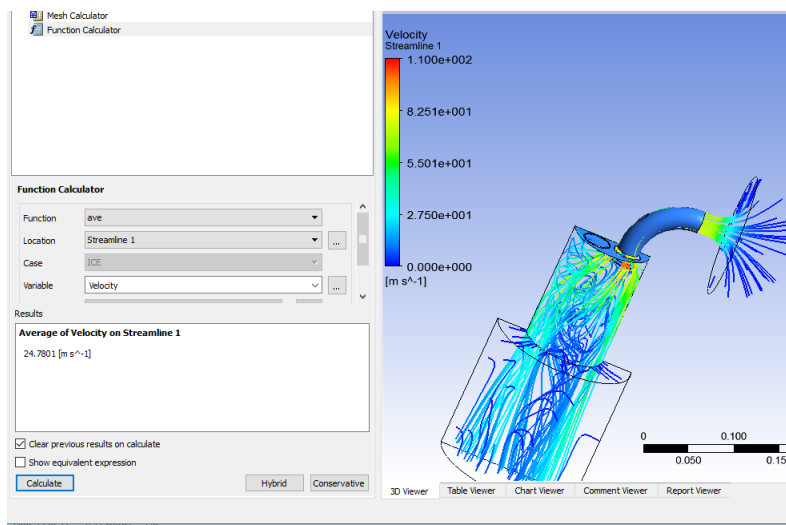
Tahap post ini bertujuan untuk menampilkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada proses running. Hasil yang diperoleh dapat berupa data numerik maupun data visual. Data yang diperoleh akan digunakan sebagai analisa kecepatan dan massa aliran udara ketika udara masuk sesuai dengan variasi bukaan valve.



**Gambar 4.11 Hasil Simulasi Udara Masuk**

Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai.

Kemudian untuk mengetahui hasil kecepatan rata-rata dan massa aliran udara yang terjadi dapat dilihat pada **function kalkulator** untuk mengetahui besaran kecepatan dan massa aliran udara yang terjadi. Data yang diperoleh merupakan kecepatan rata-rata dan massa aliran udara rata-rata.



**Gambar 4.12 Perhitungan Kecepatan Rata-Rata**

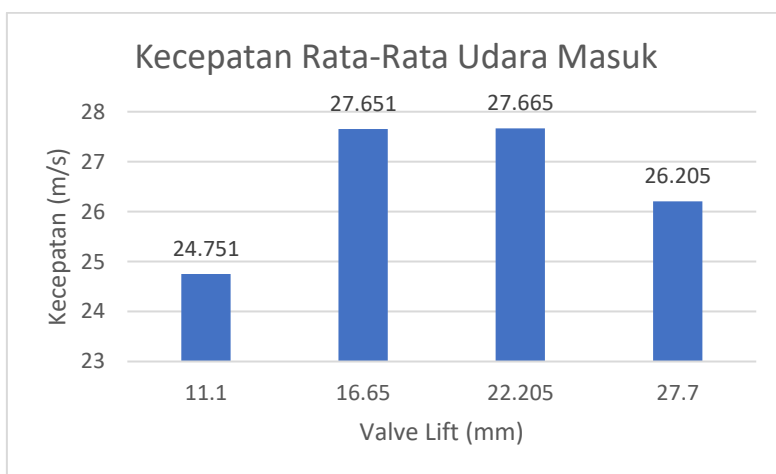
#### 4.4 Hasil Simulasi Udara Masuk dan Pembahasan

##### 4.4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk

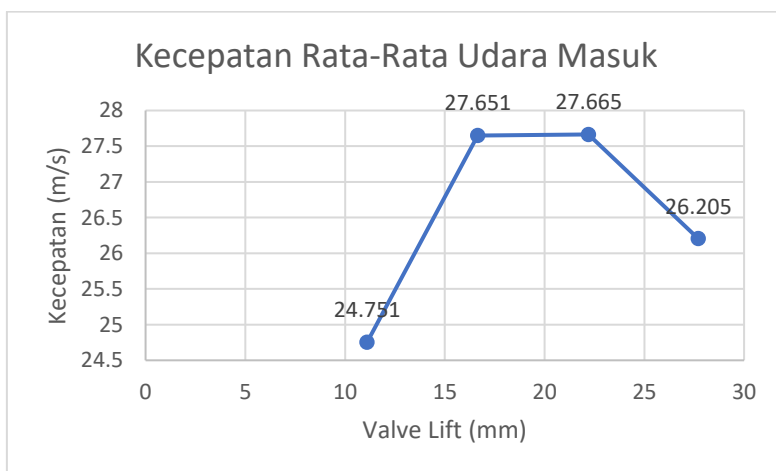
Valve lift ( mm )	Kecepatan rata2 (m/s)
11.1	24.751
16.65	27.651
22.205	27.665
27.7	26.205

Tabel 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk

Dapat pula digambarkan sebagai grafik berikut :



Grafik 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk



Grafik 4.2 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk

Dari grafik dapat diketahui bahwa penambahan bukaan valve yang semakin dalam memengaruhi kecepatan udara masuk. Semakin dalam bukaan valve

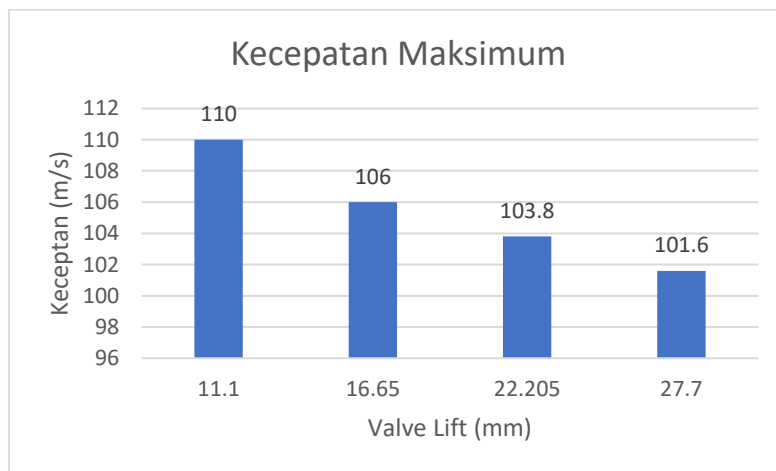
semakin cepat pula aliran udara rata-rata yang masuk kedalam chamber. Pada bukaan valve lift 22.205 mm dapat mencapai kecepatan udara rata-rata 27.665 m/s. Namun mengalami penurunan pada bukaan valve 27.7 mm menjadi 26.205 m/s.

#### 4.4.2 Kecepatan Udara Maksimal yang Dapat Terjadi

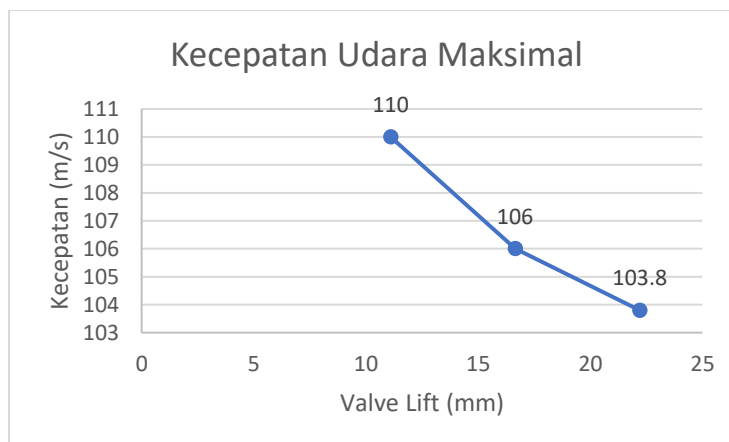
Valve lift ( mm )	Kecepatan max(m/s)
11.1	110
16.65	106
22.205	103.8
27.7	101.6

Tabel 4.2 Kecepatan Maksimal Udara Masuk

Dapat pula digambarkan sebagai grafik berikut :



Grafik 4.3 Kecepatan Maksimal Udara Masuk



Grafik 4.4 Kecepatan Maksimal Udara Masuk

Dari grafik diketahui bahwa pengaruh bukaan valve yang semakin dalam mempengaruhi kecepatan maksimal yang dapat dicapai oleh udara. Semakin tinggi bukaan valve maka kecepatan maksimal udara akan semakin turun. Hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas  $A_1.v_1 = A_2.v_2$ . Dimana bukaan valve yang semakin dalam menghasilkan celah bukaan luasan yang lebih besar yang dapat menurunkan kecepatan aliran udara.

#### 4.4.3 Perhitungan Reynold Number

Diameter pipa ( d ) : 50 mm  
 Massa Jenis Udara (  $\rho$  ) :  $1.225 \text{ kg/m}^3$   
 Viskositas Udara (  $\mu$  ) :  $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$   
 V (m/s) : Kecepatan  
 $Re = \rho.v.d/\mu$

1. Untuk Valve Lift 11.1 mm  
 $Re = \rho.v.d/\mu$   
 $= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 24.751 \text{ m/s} \times 50. \cdot 10^{-3} \text{ m} / 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} = 93913.17$
2. Untuk Valve Lift 16.65 mm  
 $Re = \rho.v.d/\mu$   
 $= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 27.651 \text{ m/s} \times 50. \cdot 10^{-3} \text{ m} / 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} = 104112.3$
3. Untuk Valve Lift 22.205 mm  
 $Re = \rho.v.d/\mu$   
 $= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 27.665 \text{ m/s} \times 50. \cdot 10^{-3} \text{ m} / 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} = 104165$
4. Untuk Valve Lift 27.7 mm  
 $Re = \rho.v.d/\mu$   
 $= 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 26.205 \text{ m/s} \times 50. \cdot 10^{-3} \text{ m} / 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} = 98667.81$

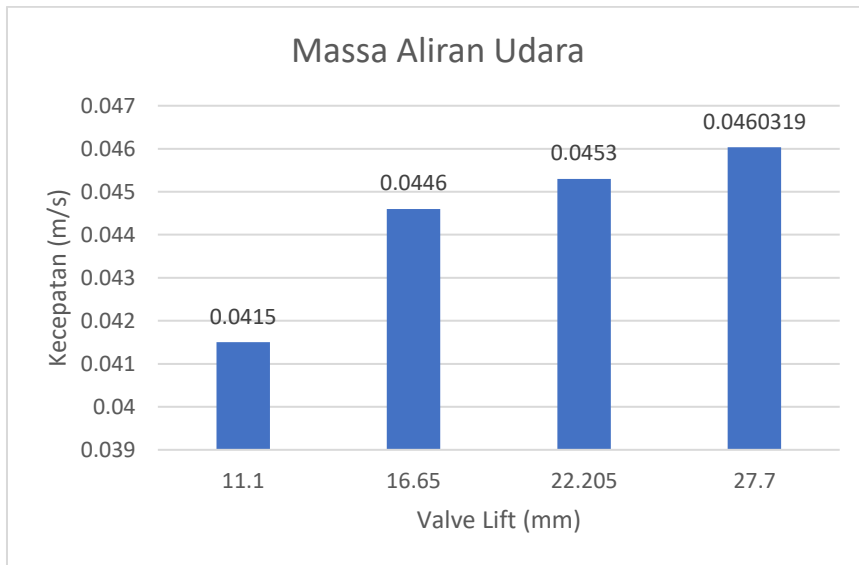
Dari perhitungan Reynold number semua nilai melebihi 4000, artinya semua kondisi bukaan mengalami turbulensi. Nilai turbulensi tertinggi adalah pada bukaan valve 27.7 mm dengan nilai Reynold number 104165

#### 4.4.4 Massa Aliran Udara

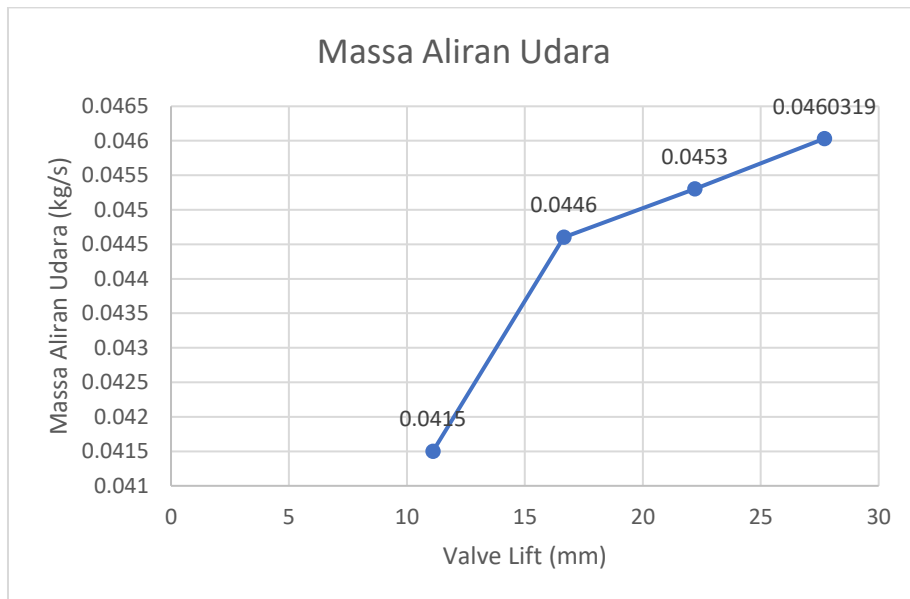
Valve lift ( mm )	jumlah Massflowrate (kg/s)
11.1	0.0415
16.65	0.0446
22.205	0.0453
27.7	0.0460319

Tabel 4.3 Massa Aliran Udara

Dapat pula digambarkan sebagai grafik berikut :



Grafik 4.5 Massa Aliran Udara



Grafik 4.6 Massa Aliran Udara

Dari grafik diketahui bukaan valve mempengaruhi massa aliran udara yang masuk ke chamber. Semakin dalam bukaan valve maka massa udara yang masuk akan semakin tinggi pula. Massa udara memiliki nilai terbesar pada bukaan valve 27.7 mm dengan massa aliran udara 0.046 kg/s.

#### 4.5 Penggambaran Camshaft

Penggambaran camshaft dilakukan menggunakan software solidwork. Dimana modifikasi camlobe pada kondisi high valve lift dengan penambahan jarak antara sumbu pusat ke ujung camlobe. Kemudian menyimpan file dalam format (.igs) agar nantinya dapat terbaca oleh software Ansys ketika geometry dimasukkan sebagai geometri analisa.

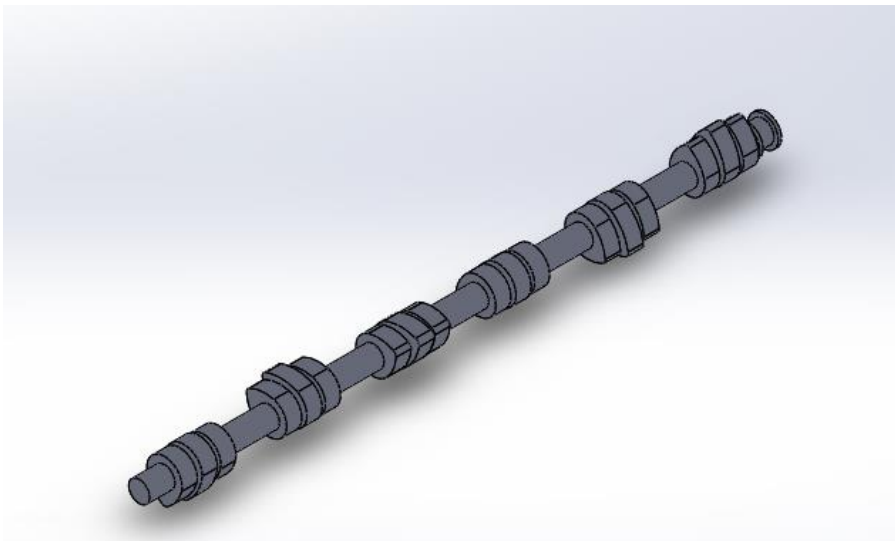
Data dimensi camshaft :

Diameter poros = 25 mm

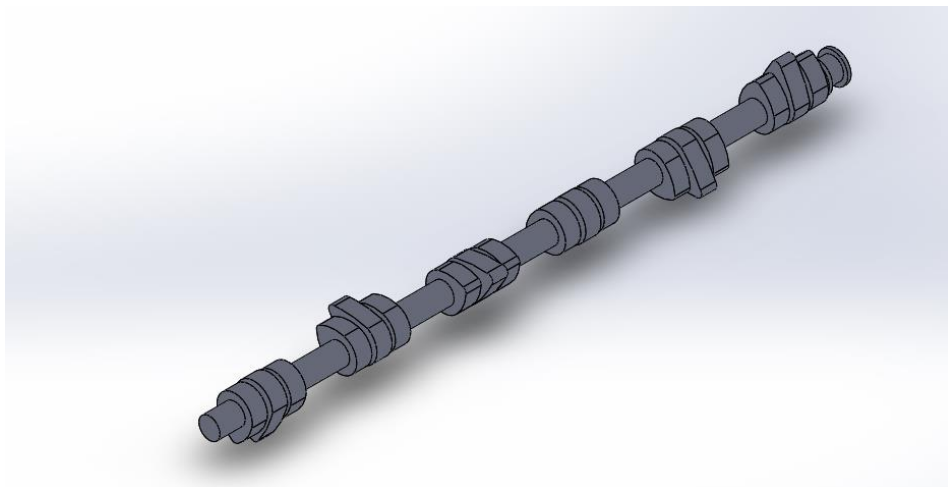
Panjang poros = 794 mm

Diameter camlobe = 42 mm

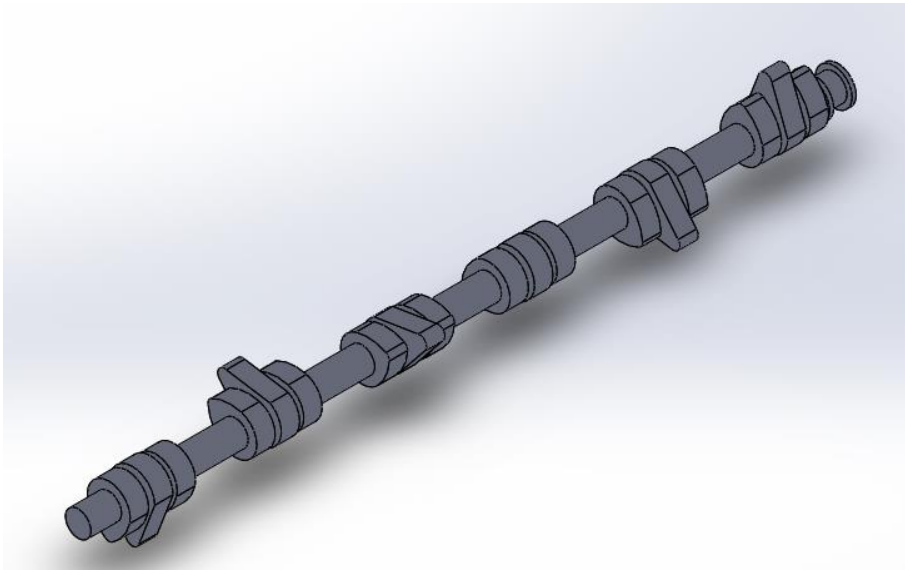
Lebar = 18 mm



**Gambar 4.13 Pemodelan Camshaft dengan valve lift 11.1 mm dan 16.65 mm**



**Gambar 4.14 Pemodelan Camshaft dengan Valve lift 11.1 mm dan 22.205 mm**



**Gambar 4.15** Pemodelan Camshaft dengan valve lift 11.1 mm dan 27.7 mm

## 4.6 Stress Analysis

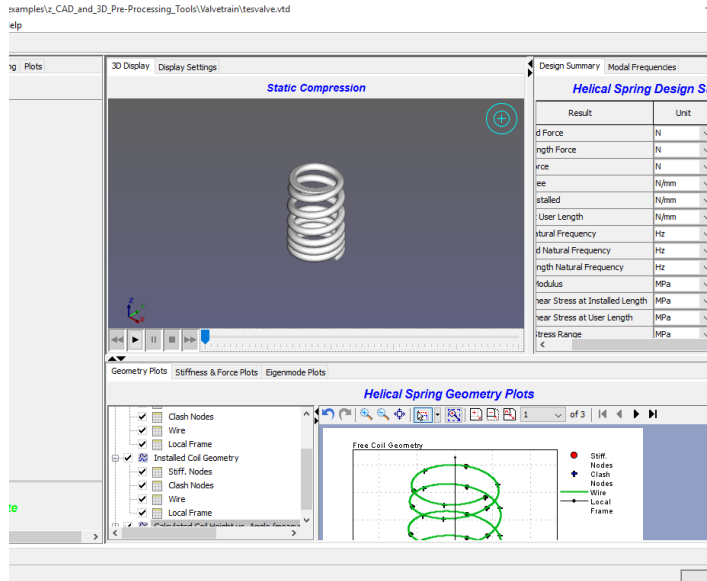
### 4.6.1 Gaya pada Spring

Data gaya yang bekerja didapat dari simulasi gaya pada spring di GT valve train yakni :

Lift (mm)	F (N)	K (N/mm)
11.1	372.7	46.6
16.65	1551.78	
22.205	2069.506	
27.7	2581.64	

Tabel 4.4 Gaya pada Spring

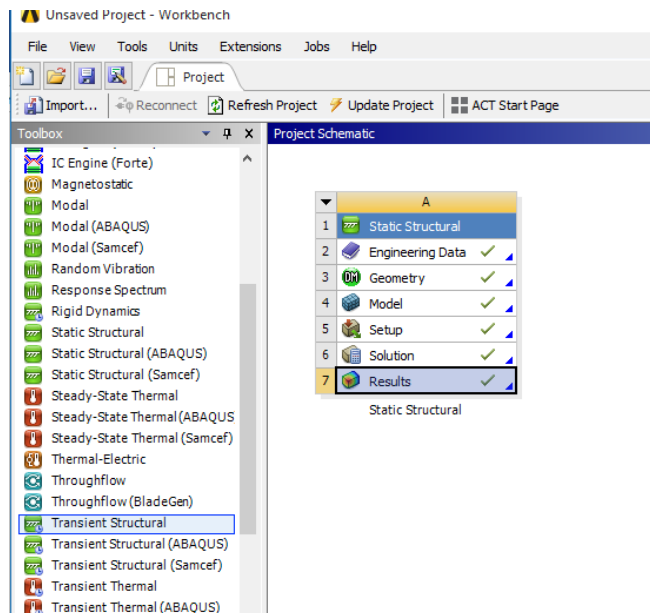




Gambar 4.16 Simulasi Spring

#### 4.6.2 Static Structural

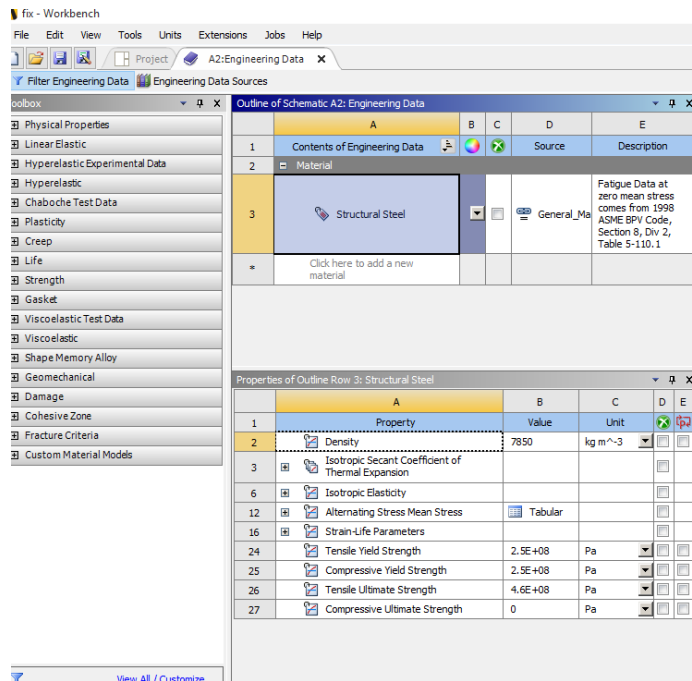
Untuk menganalisa stress pada camshaft dilakukan menggunakan Ansys. Kemudian melakukan analisa struktur dengan *Static Structural*, hal ini dipilih karena gaya yang bekerja statis secara bergantian di ujung camlobe.



Gambar 4.17 Static Structural

### 4.6.3 Engineering Data

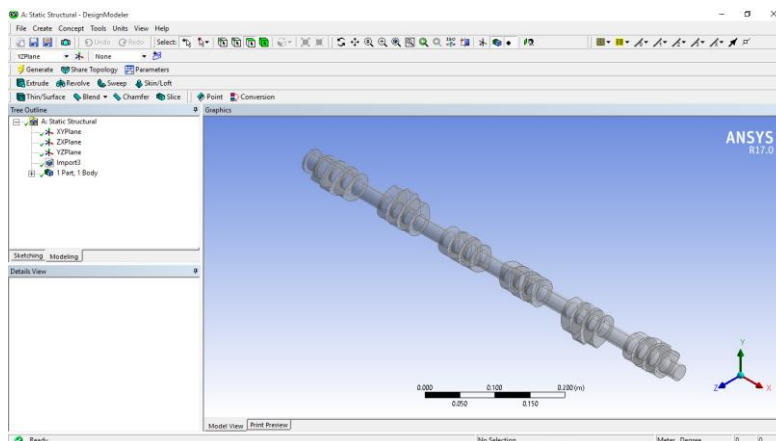
Engineering data merupakan input material dari camshaft. Di engineering data juga terdapat data material dari berbagai macam material uji. Kita juga dapat memasukkan data secara custom. Dalam analisa ini dipilih *structural steel* sebagai material dari camshaft.



Gambar 4.18 Engineering Data

### 4.6.4 Input Geometri

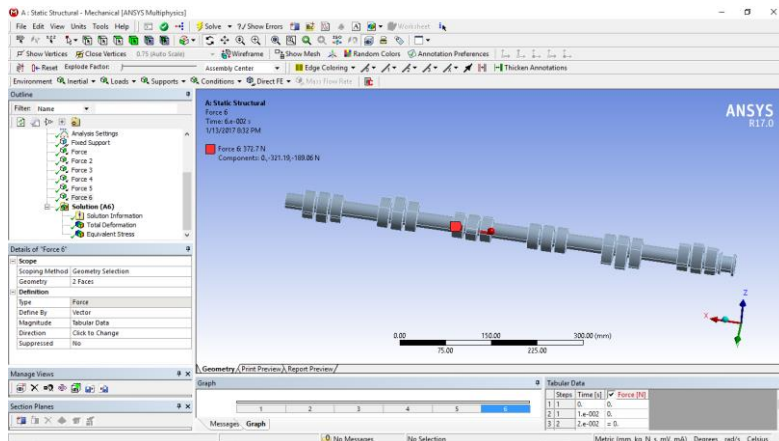
Input geometri erupakan proses memasukkan geometri yang telah dibuat pada solidwork untuk dianalisa strukturnya pada ANSYS.



Gambar 4.19 Geometri yang Telah Digenerate

#### 4.6.5 Input Gaya pada Model

Pada inputan gaya disesuaikan pada kondisi putaran 2000 RPM dimana gaya berpindah dari camlobe satu ke camlobe yang lain dengan jeda waktu 0.01 detik. Inputan gaya juga menyesuaikan firing order yakni 1-5-3-6-2-4 ke masing-masing camlobe.



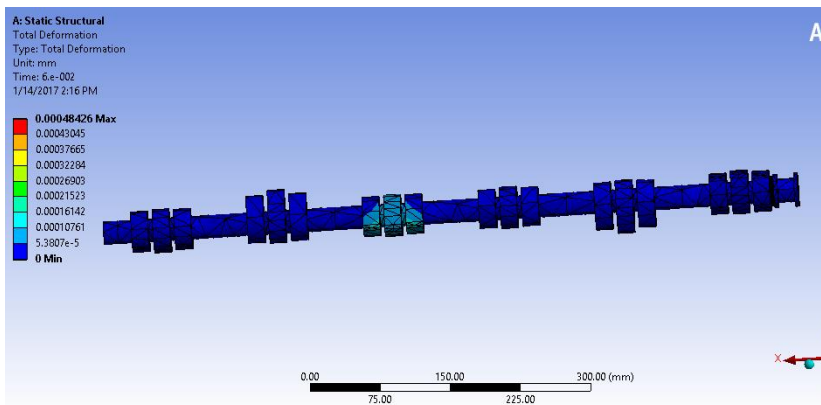
**Gambar 4.20 Masukkan Gaya pada Camshaft**

#### 4.6.6 Solution

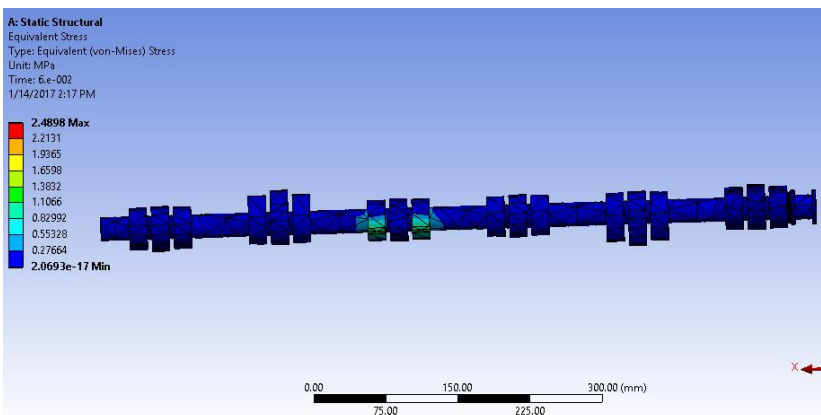
Tab solution adalah output yang diinginkan, dan nantinya akan ditunjukkan setelah proses running. Pada simulasi ini akan dianalisa deformasi dan stress yang terjadi.

#### 4.6.7 Post

Merupakan langkah untuk menampilkan hasil simulasi secara 3D. Pada simulasi akan terlihat warna-warna deformasi dan stress pada geometri. Berikut merupakan hasil dari simulasi deformasi dan stress pada bukaan valve 11.1 mm, untuk gambar deformasi dan stress pada bukaan lain bisa dilihat pada lampiran :



Gambar 4.21 Simulasi Deformasi



Gambar 4.22 Simulasi Stress

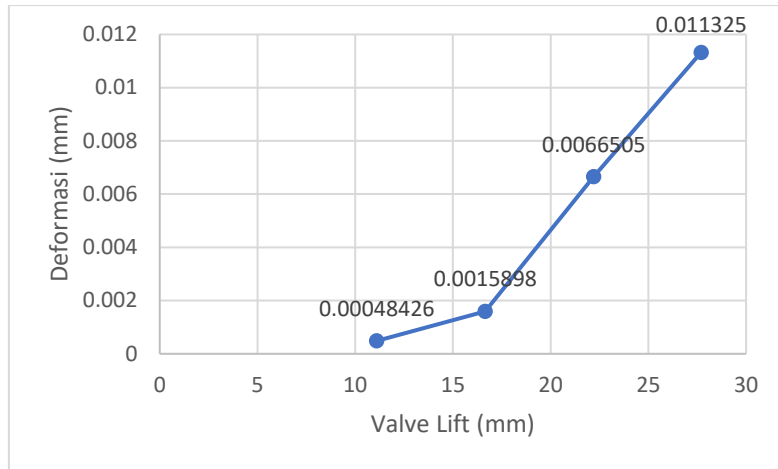
## 4.7 Hasil Simulasi Stress pada Camshaft dan Pembahasan

### 4.7.1 Deformasi dan Stress

X (mm)	Material	Max Deformasi (mm)	MaxStress (Mpa)
11.1	Structural steel	0.00048426	2.4898
16.65		0.0015898	12.482
22.205		0.0066505	16.352
27.7		0.011325	20.385

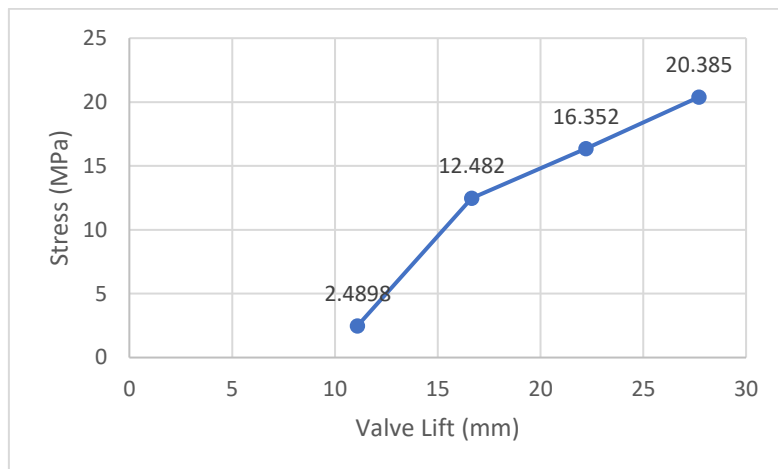
Tabel 4.5 Nilai Deformasi dan Stress yang Terjadi

Dapat pula digambarkan sebagai grafik berikut :



Grafik 4.7 Deformasi Maksimal

Dari grafik diketahui pada mode bukaan valve lift 27.7 mm mengalami deformasi maksimal sebesar 0.011325 mm paling besar diantara mode bukaan yang lain. Hal ini disebabkan gaya tekan pada cam memiliki nilai yang besar.



Grafik 4.8 Stress Maksimal

Dari grafik stress maksimal memiliki nilai paling besar pada kondisi bukaan valve lift 27.7 mm yakni sebesar 20.385 MPa. Hal ini terjadi karena gaya tekan pada camshaft juga besar sehingga stress akan semakin besar.

#### 4.8 Hubungan Hasil Simulasi dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya pada bab 2.1 dijelaskan bahwa kondisi ideal adalah dengan kombinasi default bukaan 11.1 mm dan 2x mod atau pada 22.205 mm. Sementara bukaan valve 2.5x mod tidaklah efisien karena power rata-rata menjadi turun.

Dari hasil penelitian yang penulis lakukan bahwa kecepatan udara rata-rata tertinggi terjadi pada bukaan valve 22.205 mm atau pada bukaan 2 kali default kemudian mengalami penurunan pada bukaan 2.5 kali lipat pada 27.7 mm. Sementara massa aliran udara memiliki nilai tertinggi pada bukaan valve 27.7 mm.

Oleh karena itu kondisi paling tepat dan efektif adalah pada bukaan valve 27.7 mm berbeda dari hasil penelitian sebelumnya.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Kecepatan udara rata-rata dan massa aliran udara pada bukaan valve lift 11.1 mm sebesar 24.751 m/s dan 0.0415 kg/s, pada bukaan valve 16.65 mm sebesar 27.651 m/s dan 0.0446 kg/s, pada bukaan valve 22.205 mm sebesar 27.665 m/s dan 0.0453 kg/s, dan pada bukaan valve 27.7 mm sebesar 26.205 m/s dan 0.04603 kg/s. Sehingga kecepatan dan turbulensi tertinggi terjadi pada bukaan valve 22.205 mm dan massa udara terbanyak pada bukaan valve 27.7 mm.
2. Stress yang terjadi pada camshaft gas engine 6 silinder pada bukaan valve 11.1 mm sebesar 2.48 Mpa, pada bukaan valve 16.65 mm sebesar 12.482 Mpa, pada bukaan valve 22.205 sebesar 16.352 Mpa, dan pada bukaan valve 27.7 mm sebesar 20.385 Mpa. Sehingga stress tertinggi dialami camshaft pada bukaan valve 27.7 mm.
3. Kombinasi bukaan valve paling tepat adalah default bukaan 11.1 mm dan 2.5 x bukaan valve pada 27.7 mm. Karena pada bukaan valve 27.7 mm memiliki massa aliran udara tertinggi diantara bukaan valve lainnya.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan analisa pada saat udara masuk dan udara keluar terutama pada langkah overlap dimana kedua valve intake dan exhaust terbuka bersama.
2. Perlu dilakukan analisa mendalam atau praktikum untuk mendapat nilai yang lebih akurat.
3. Perlu adanya analisa stress pada camshaft dengan variasi material.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



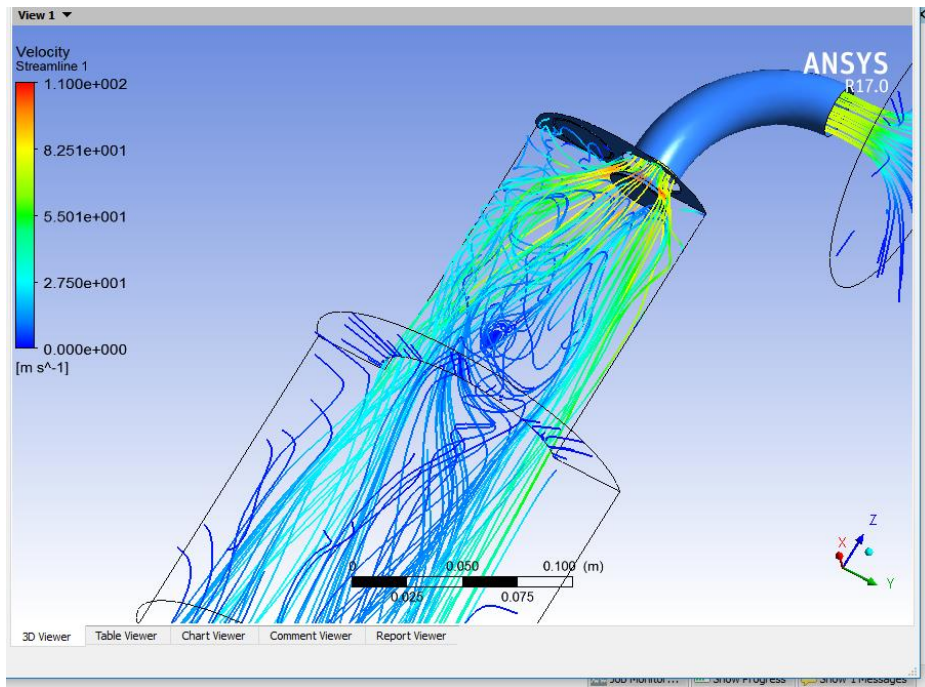
## DAFTAR PUSTAKA

- Anil, Karil. 2015. *Structural And Modal Analysis Of Camshaft*. India : Nalanda Institute of Engineering and Technology
- Alejandro Eskobar, Jose.1996. *Stress And Fatigue Analysis Of svi Tested Camshaft Lobe*. USA : Virginia Polytechnic Institut
- ANSYS. 2012. *Solving Port Flow Simulation*. ANSYS Inc.
- Henry, Laurensius. 2015. “*Kajian Variable Valve Lift Pada Gas Engine Dengan Berbasis Pada Simulasi*”. Indonesia: Teknik sistem Perkapalan
- Teeter, Victor L.1999. “*Mekanika Fluida*”. Jakarta : Erlangga.
- Yahdi, Umar. 1996. *Fisika Mekanika*. Jakarta : Gunadarma
- Pulkrabek, Willard W. 2003. “*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*”. Platteville, New Jersey, USA.
- Honda Motor Co., Ltd. “*Honda Worldwide / Technology Picture Book / VTEC*”.  
<http://world.honda.com/automobile-technology/VTEC/> (Diakses 20 Agustus 2016)
- “*Acura/Honda Integra Type R Engine Information*”. 2008.  
<http://www.integratyper.org/specs/engines.htm> (Diakses 24 Agustus 2016)
- Wärtsilä Corporation. “*Combustion Engine for Power Generation: Introduction*”. 2016.  
<http://www.wartsila.com/energy/learning-center/technical-comparisons/combustion-engine-for-power-generation-introduction>  
[http://fisikazone.com/tegangan-regangan-dan-modulus elastisitas/](http://fisikazone.com/tegangan-regangan-dan-modulus-elastisitas/) (Diakses 20 Agustus 2016)
- <http://slideplayer.com/slide/1636751/> (Diakses pada 1 Januari 2017)
- [https://www.plm.automation.siemens.com/es\\_mx/plm/fea.shtml](https://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/fea.shtml) ( Diakses pada 11 Januari 2017 )

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

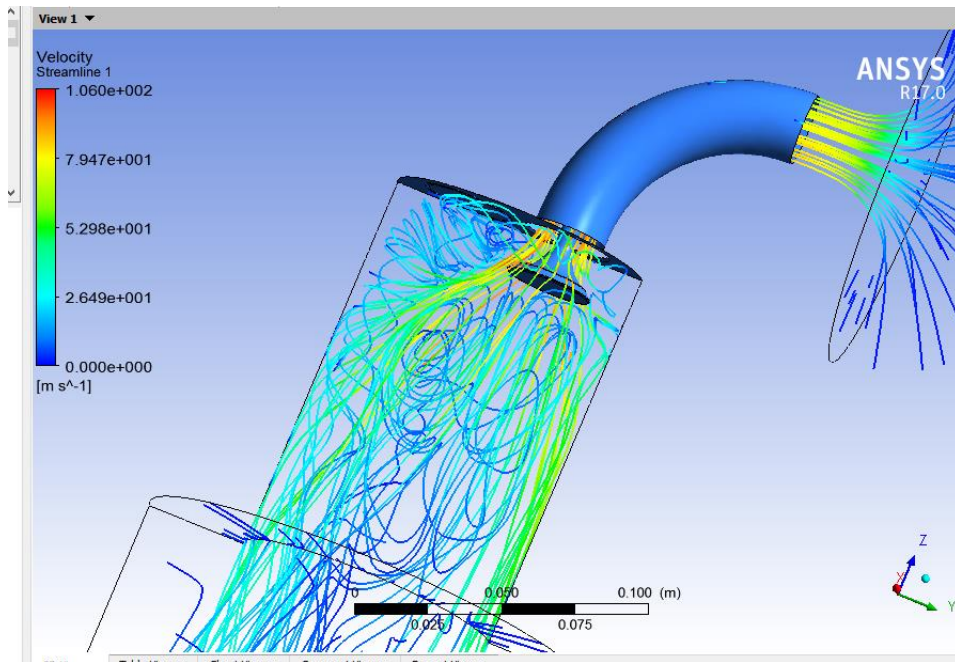
## LAMPIRAN

### 1. Velocity Streamline pada Buka Valve 11,1 mm



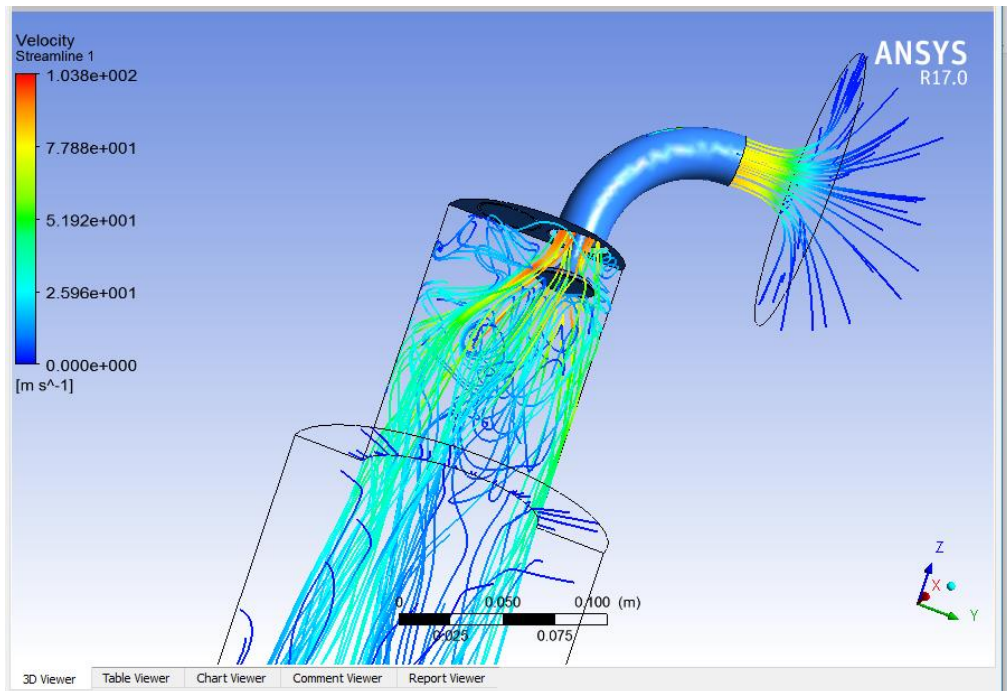
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 2. Velocity Streamline pada Buka Valve 16,65 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

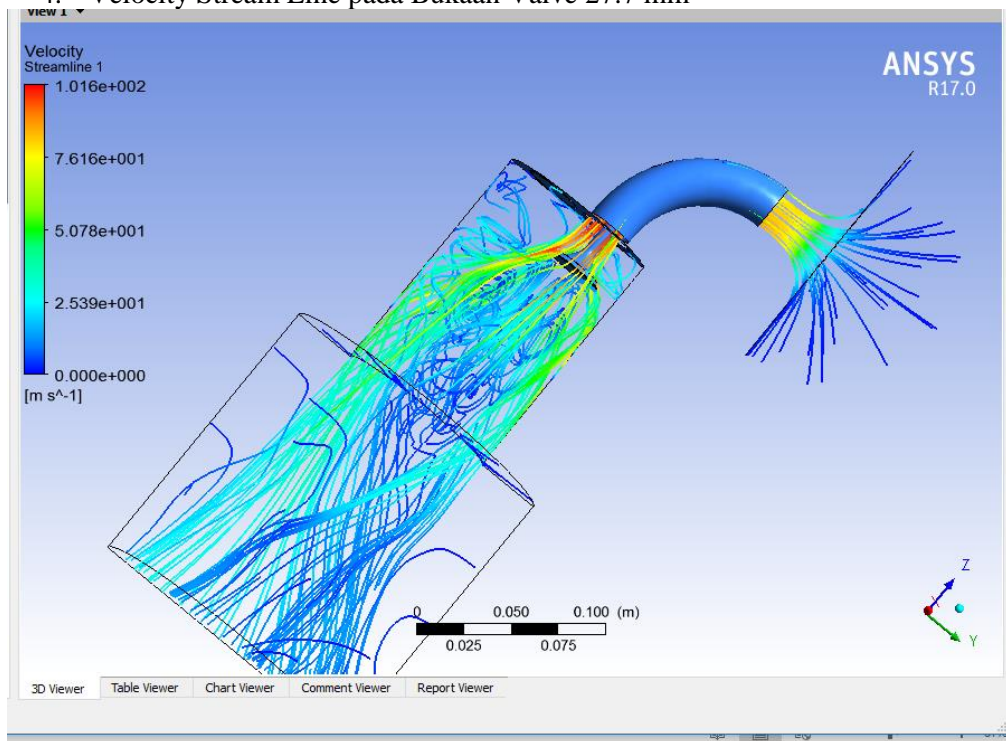
### 3. Velocity Streamline pada Buka Valve 22.205 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

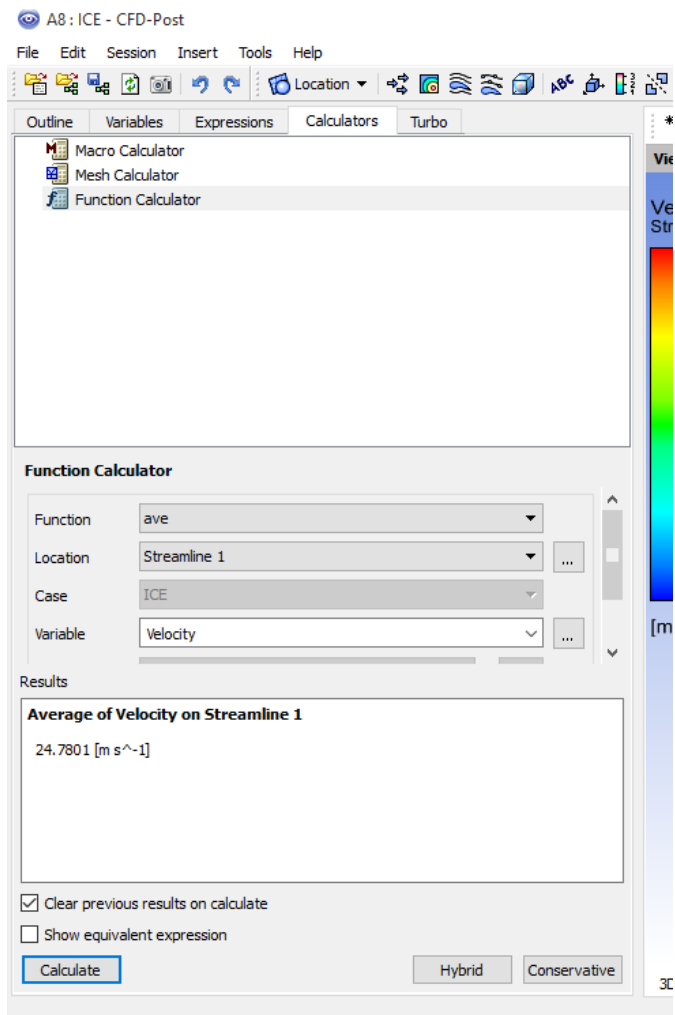


## 4. Velocity Stream Line pada Buka Valve 27.7 mm



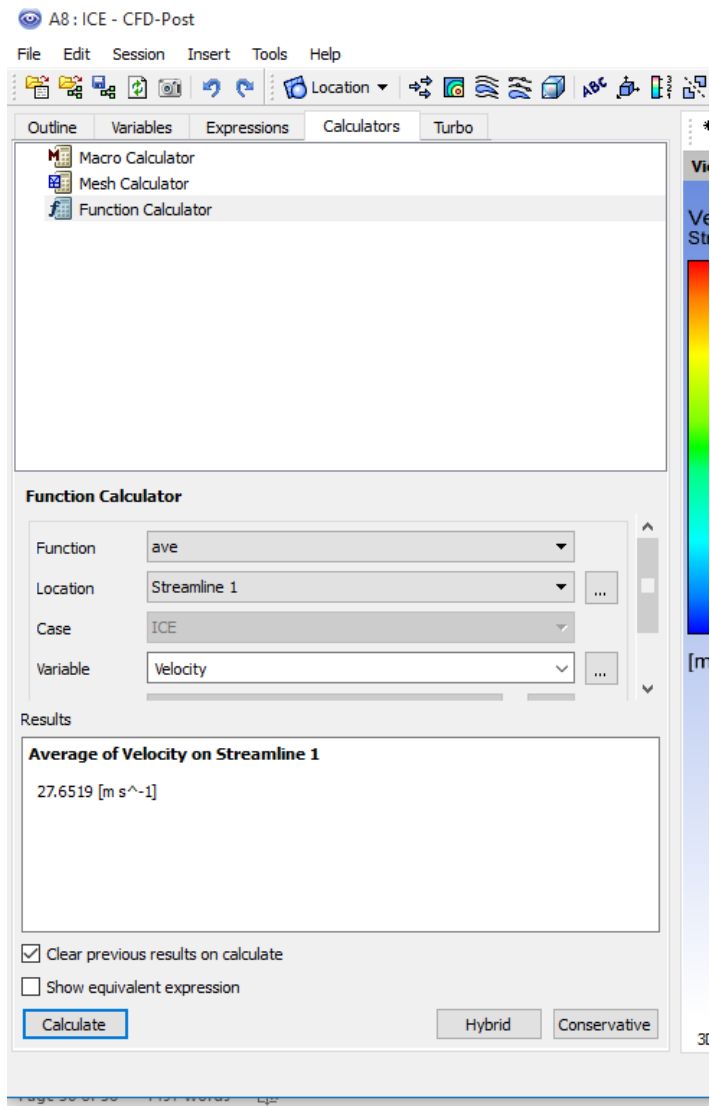
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 5. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata pada Bukaan Valve 11.1 mm



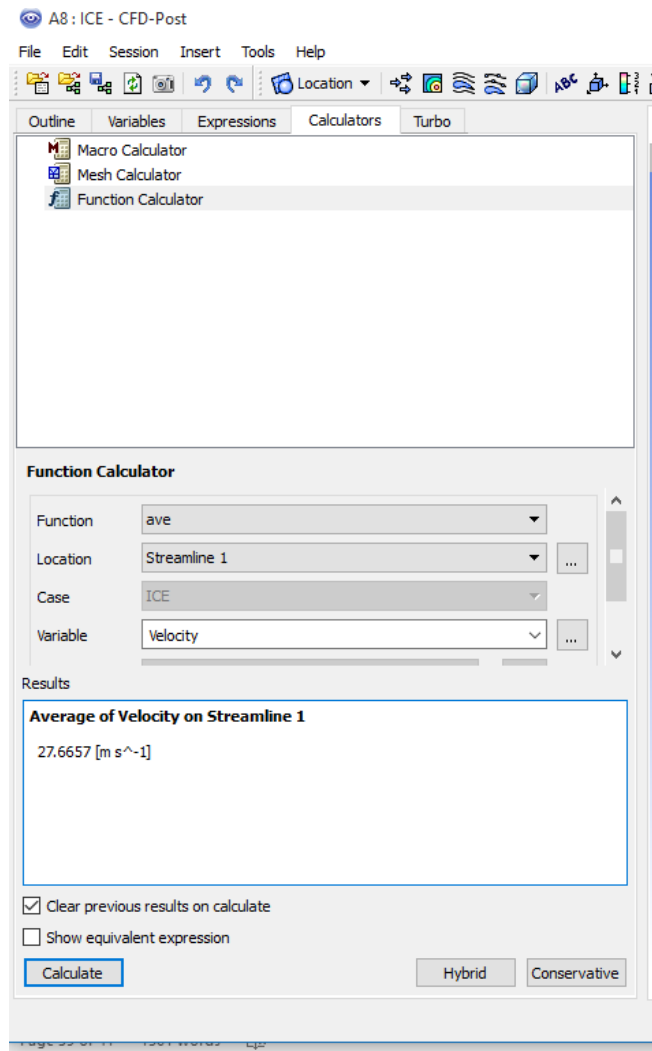
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 6. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata pada Bukaannya Valve 16.65 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

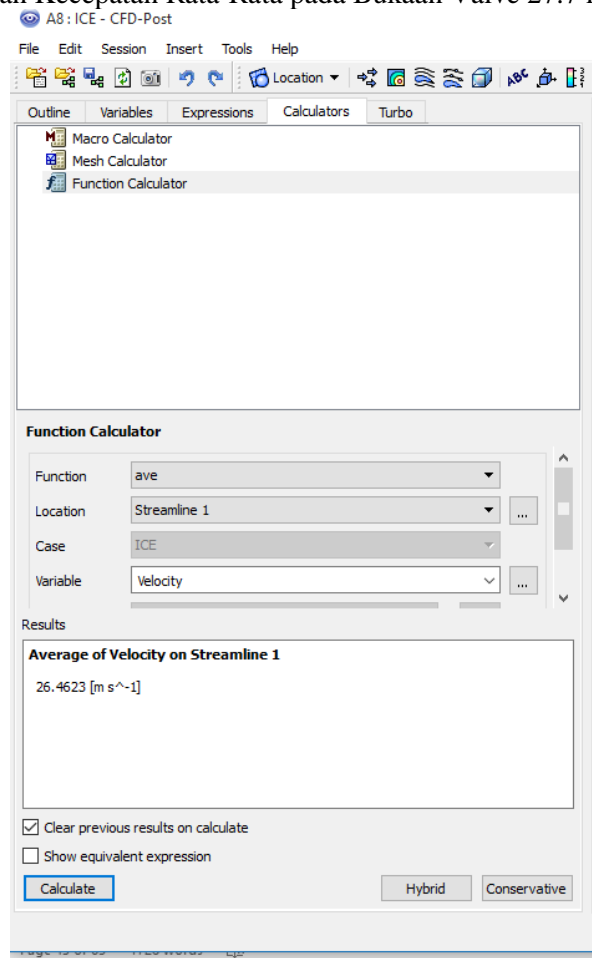
## 7. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata pada Buka Valve 22.205 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

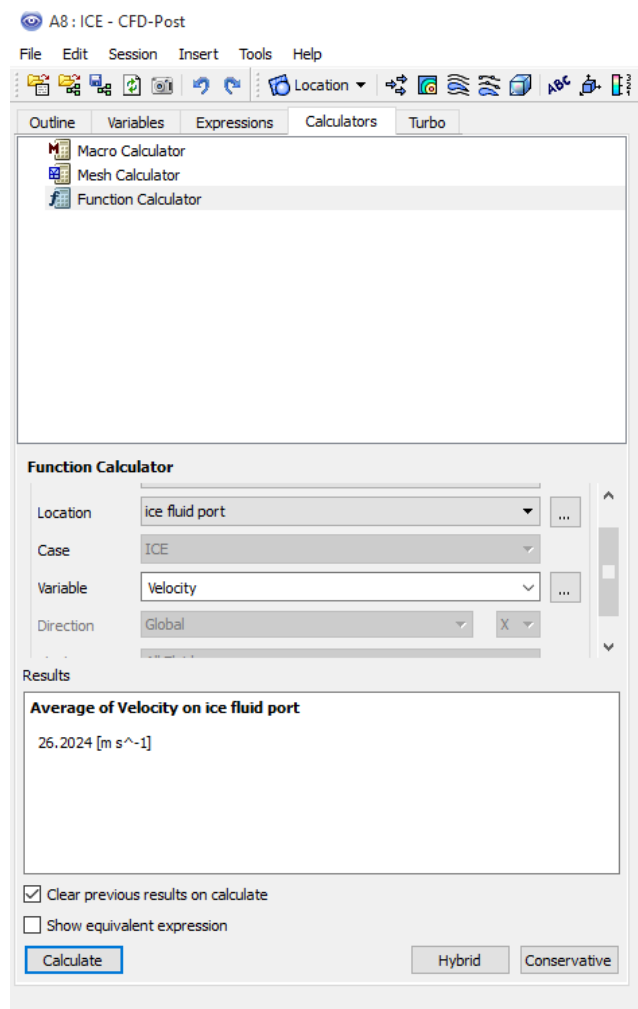


## 8. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata pada Buka Valve 27.7 mm



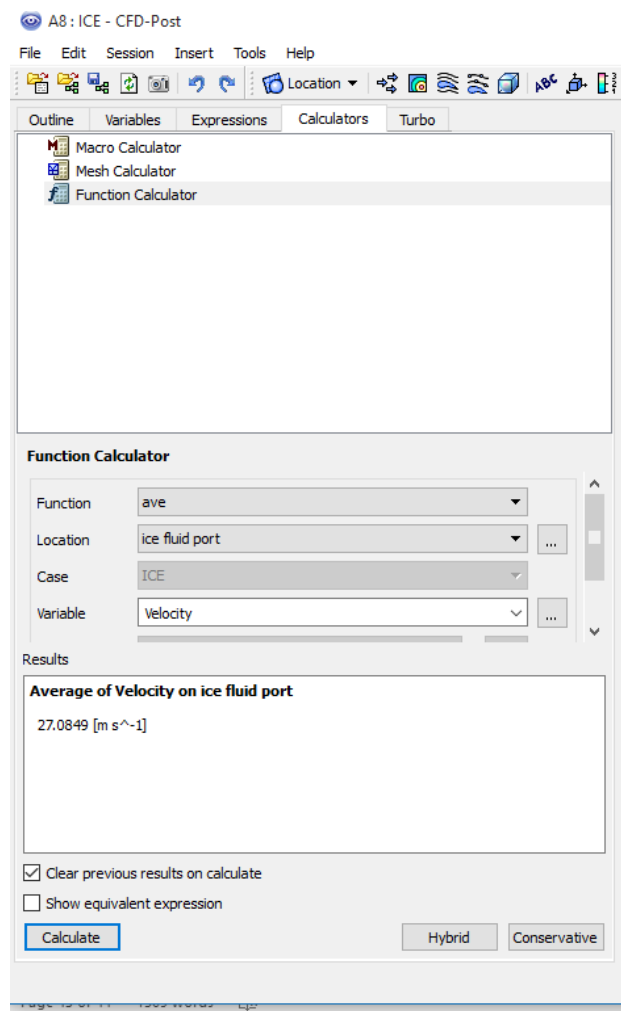
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

9. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata yang Menimpa Geometri Valve pada Bukaannya 11.1 mm



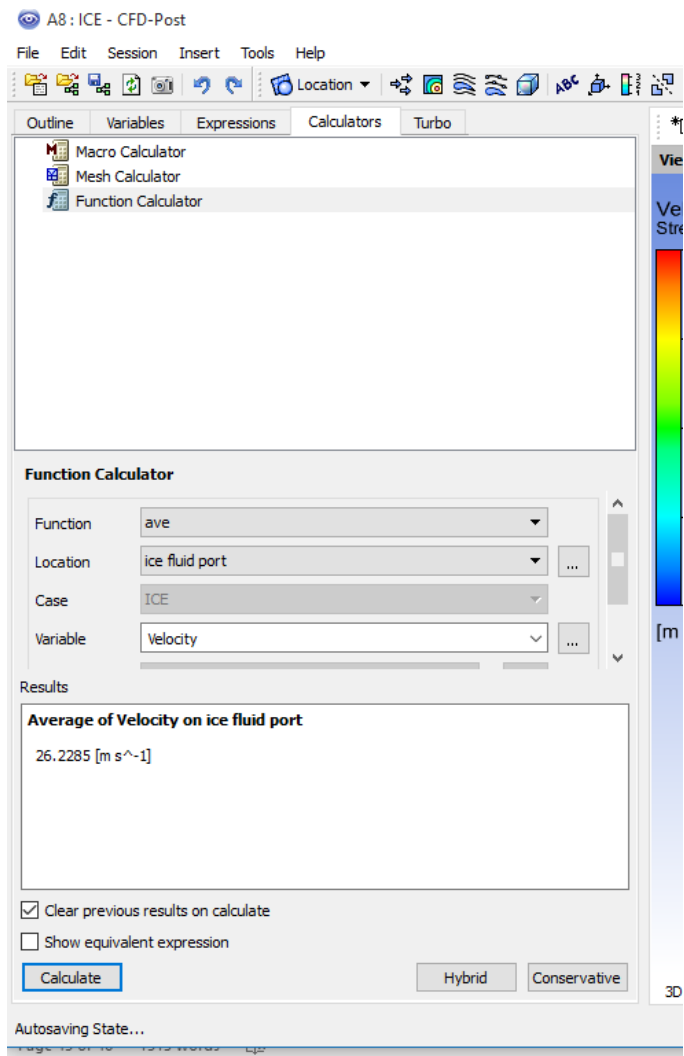
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

10. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata yang Menimpa Geometri Valve pada Bukaannya 16.65 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

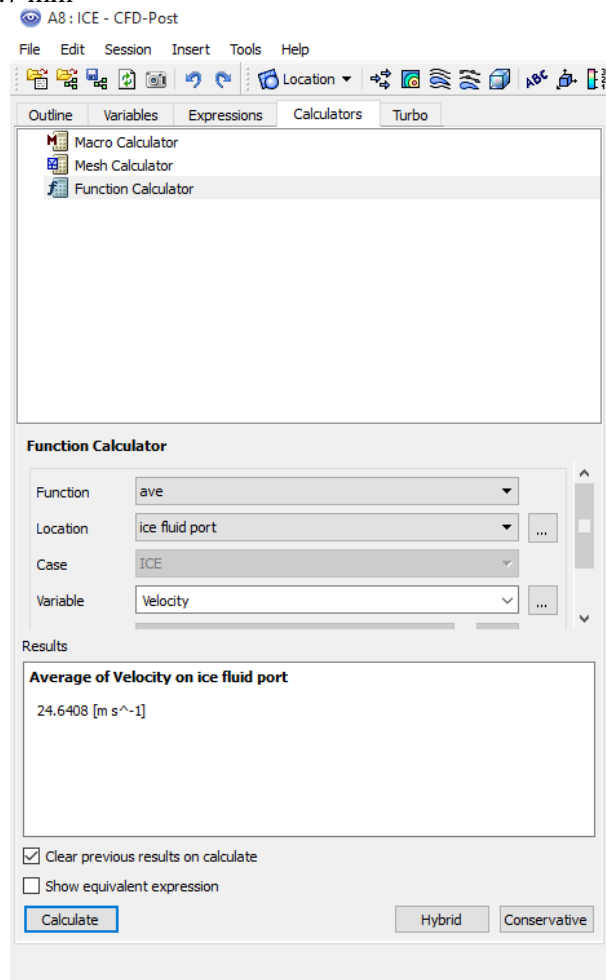
# 11. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata yang Menimpa Geometri Valve pada Bukaannya 22.205 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

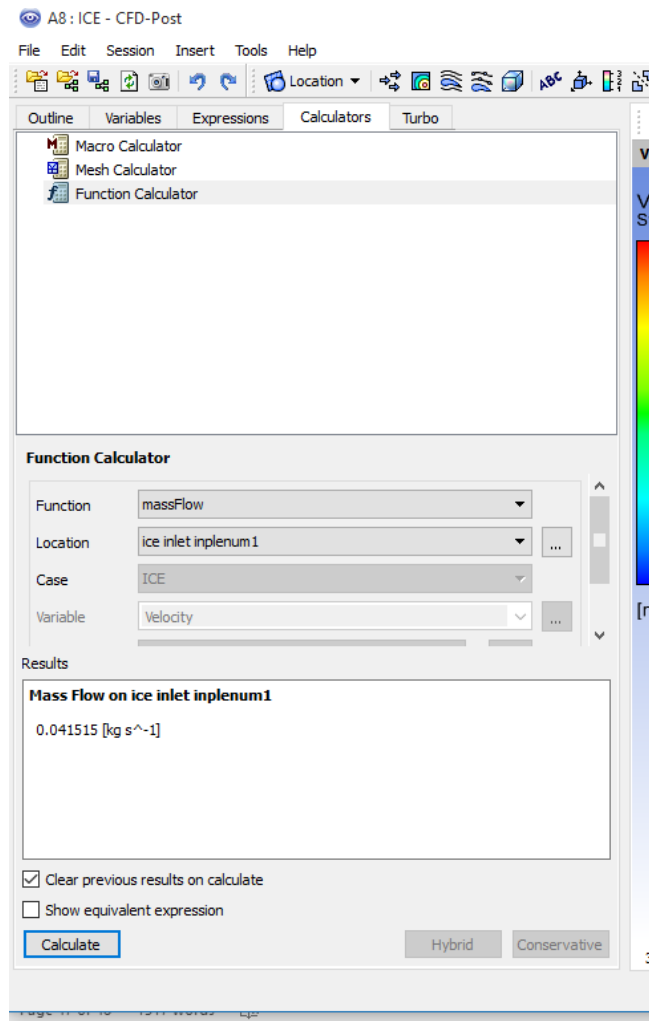


## 12. Perhitungan Kecepatan Rata-Rata yang Menimpa Geometri Valve pada Bukaannya 27.7 mm



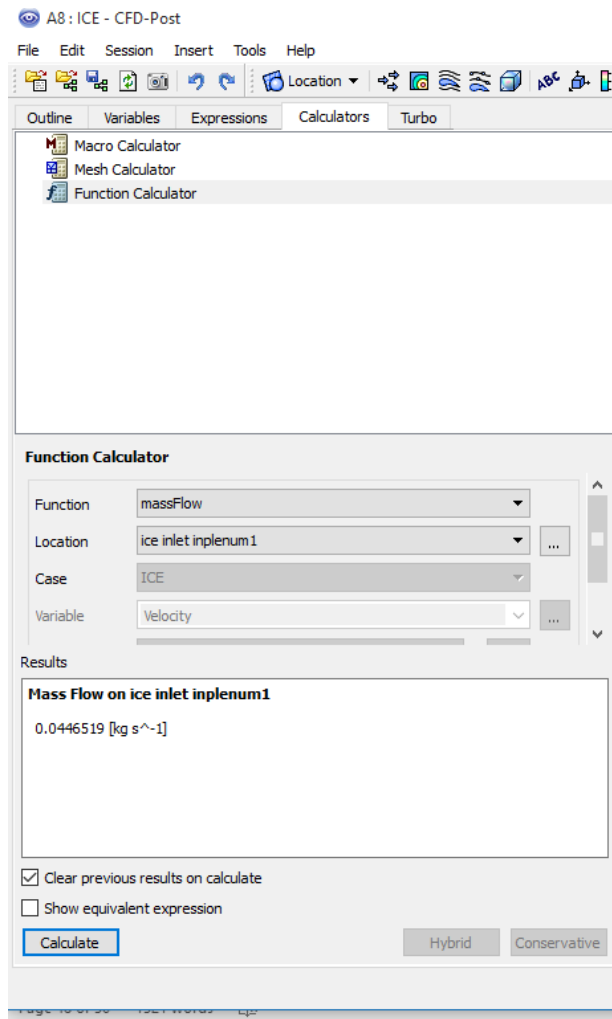
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 13. Perhitungan Massa Aliran Udara pada Bukaan Valve 11.1 mm



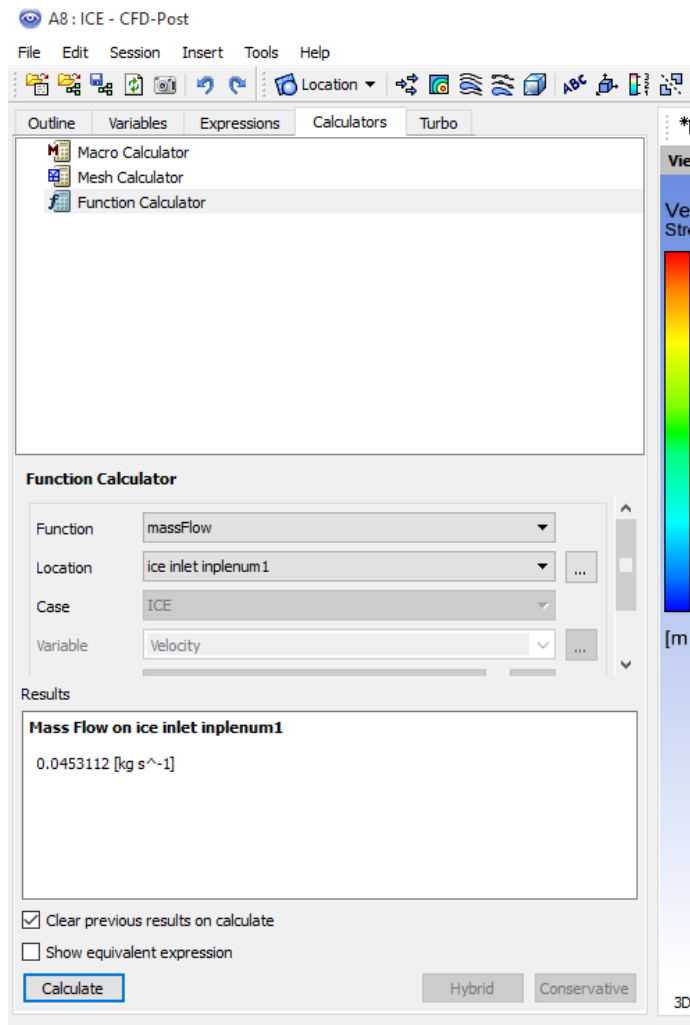
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 14. Perhitungan Massa Aliran Udara pada Bukaan Valve 16.65 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

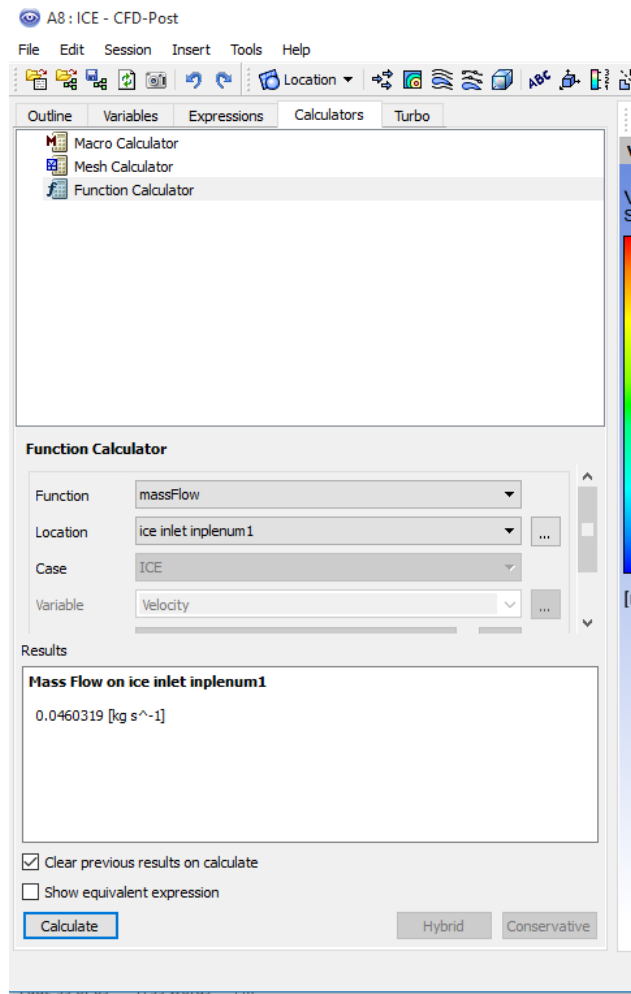
## 15. Perhitungan Massa Aliran Udara pada Buka Valve 22.205 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

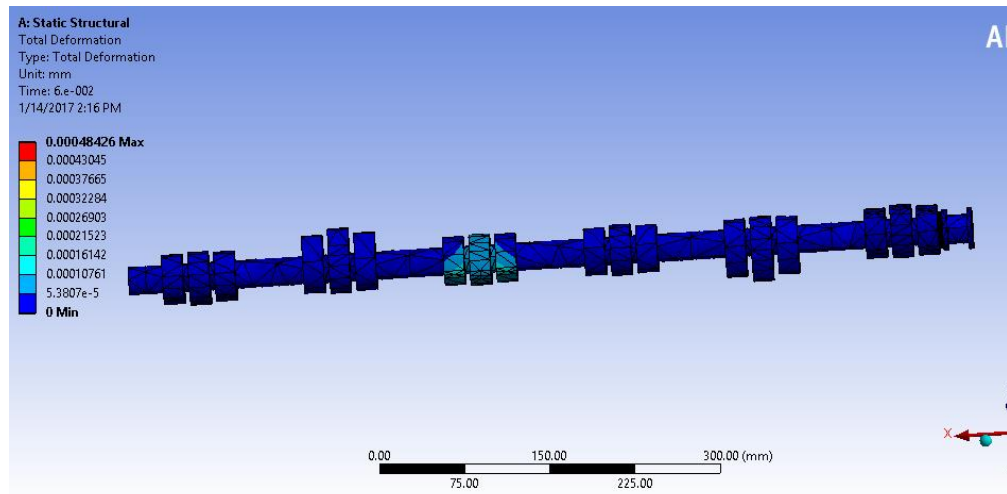


## 16. Perhitungan Massa Aliran Udara pada Bukaannya Valve 27.7 mm

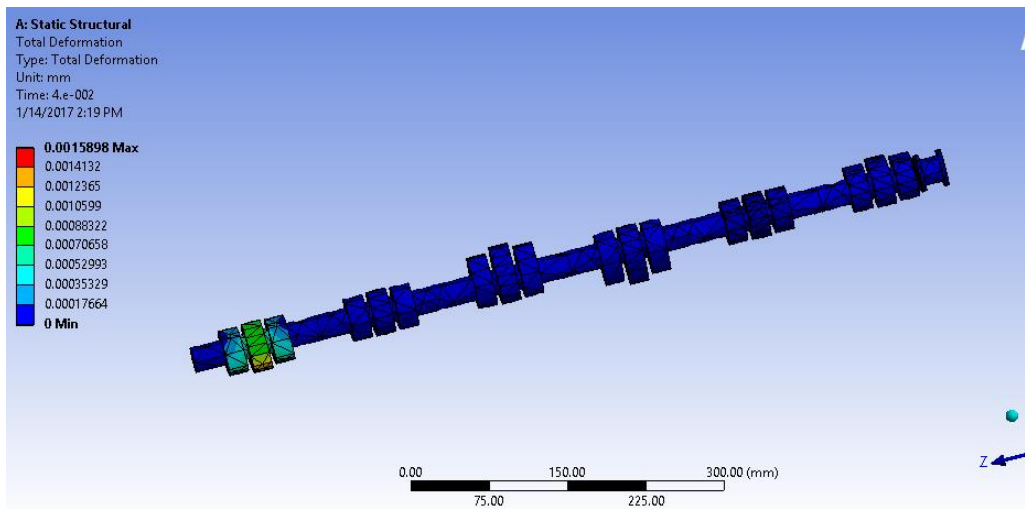


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 17. Deformasi pada Buka Valve 11.1 mm

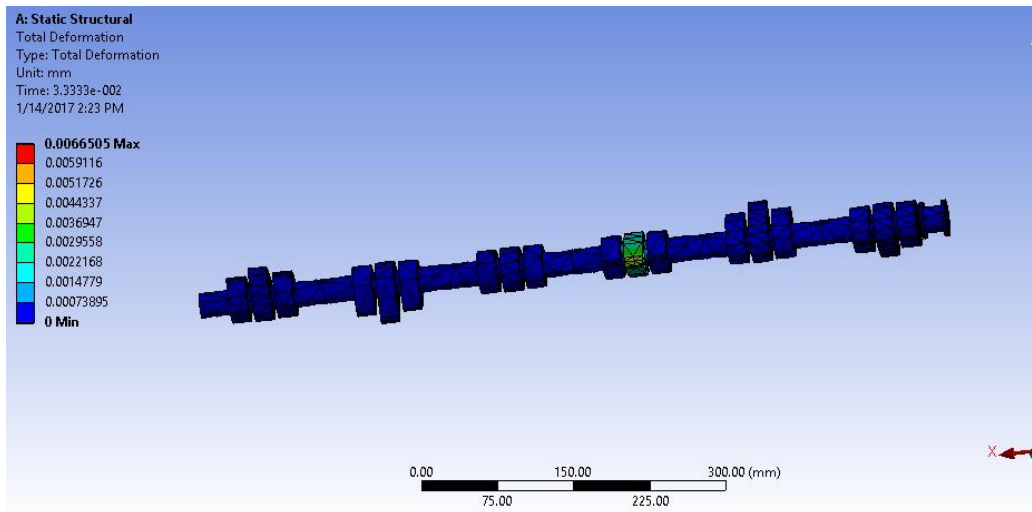


## 18. Deformasi pada Buka Valve 16.65 mm

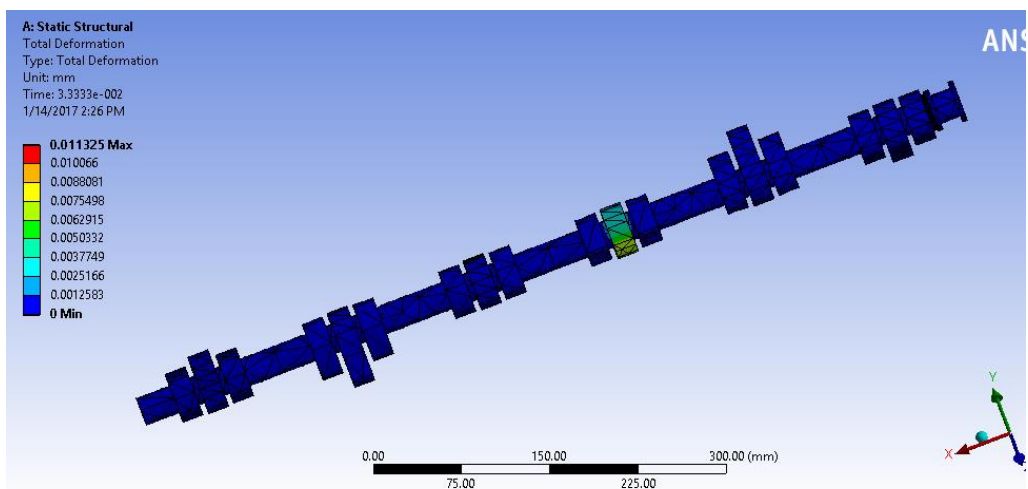


*Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### 19. Deformasi pada Bukaan Valve 22.205 mm

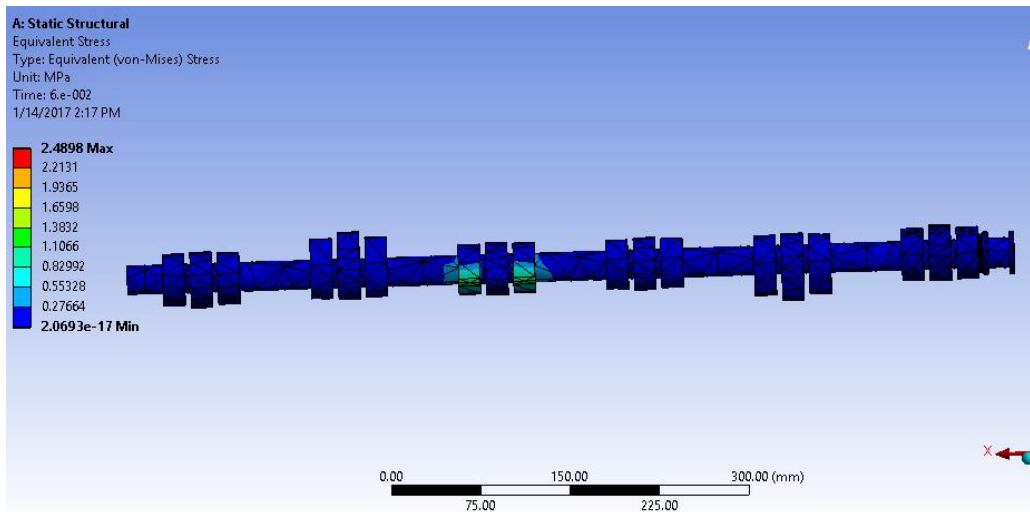


### 20. Deformasi pada Bukaan Valve 27.7 mm

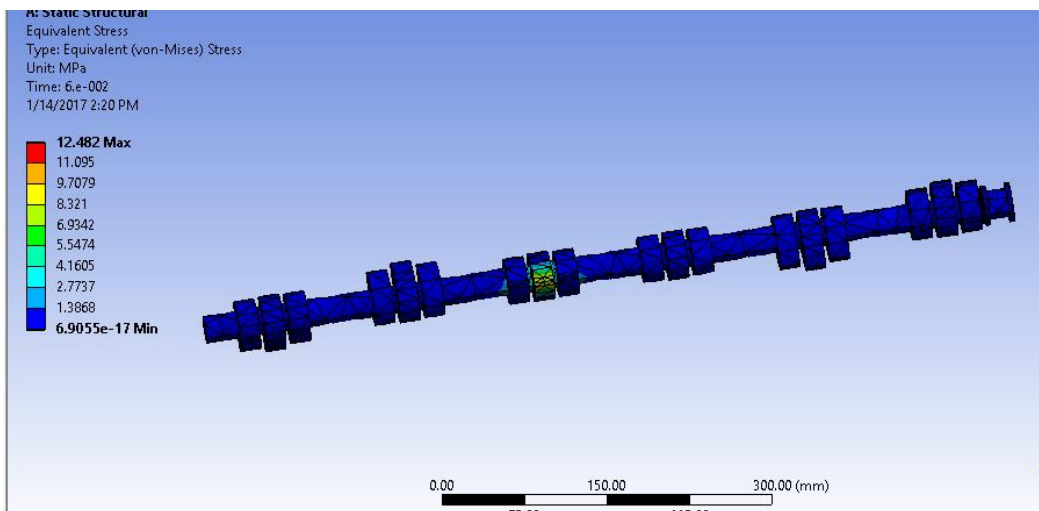


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 21. Stress pada Buka Valve 11.1 mm



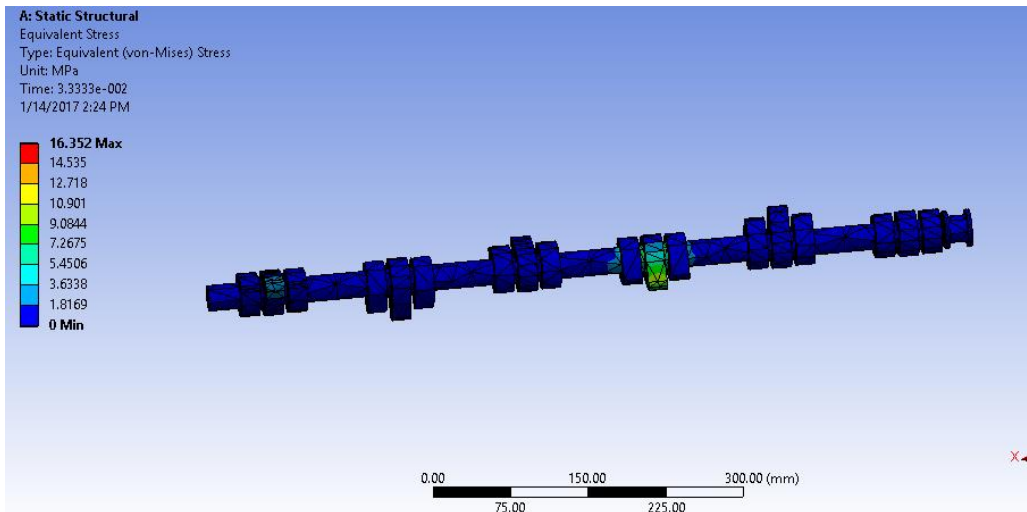
## 22. Stress pada Buka Valve 16.65 mm



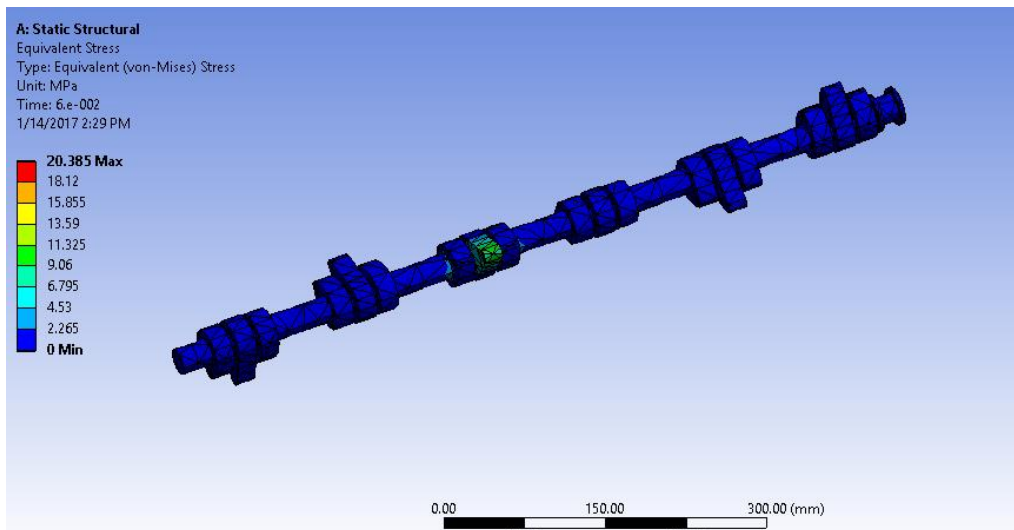
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



### 23. Stress pada Buka Valve 22.205 mm



### 24. Stress pada Buka Valve 27.7 mm



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 25. Data Material Structural Steel

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel			General_M	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				
Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



Penulis dilahirkan di Banyuwangi pada 16 Juli 1994, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di beberapa sekolah diantaranya SD Darussalam Blokagung, SMPN 1 Cluring, SMAN 1 Genteng, selanjutnya melanjutkan kuliah S1 di Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur undangan. Selama menempuh pendidikan penulis aktif sebagai ketua pramuka SD Darussalam, Ketua Dewan Kehormatan SMPN 1 Cluring, OSIS sie Berbangsa dan Bernegara, Sekretaris Paskibra, Teater SMAN 1 Genteng, selama sekolah penulis selain aktif dalam bidang organisasi juga dalam bidang olahraga seperti basket. Selama kuliah penulis pernah menjadi sekretaris MEDFO Himasiskal, OC gerigi ITS 2014, IC gerigi ITS 2015. Selain itu juga mengikuti beberapa pelatihan diantaranya LKMM praTD,

LKMM TD, Pelatihan Jurnalis Tingkat Dasar, Pelatihan Jurnalis Tingkat Lanjut, Marine Leader School, dan lain-lain. Beberapa komunitas juga pernah diikuti penulis antara lain FORSAG ( Forum Silaturahmi SMAN 1 Genteng), KPMBS ( Keluarga Pelajar Mahasiswa Banyuwangi di Surabaya), dan lain-lain. Dalam mengisi waktu luang penulis suka membaca diperpus dan untuk merefresh otak penulis memelih jalan-jalan ke pantai, gunung, sabana, dan air terjun

Id line : denikriswana  
 Id FB : denikriswana  
 Id Instagram : denikriswana  
 Email : denikriswana@gmail.com

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*